

Heikki Kanninen

# Langattoman palautteenkeruujärjestelmän toteutus ZigBee-protokollaa käyttäen

**Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 15.11.2011.

**Työn valvoja:**

Prof. Raimo Sepponen

**Työn ohjaaja:**

TkL Matti Linnavuo



**Aalto-yliopisto**  
Sähkötekniikan korkeakoulu

Tekijä: Heikki Kanninen

Työn nimi: Langattoman palautteenkeruujärjestelmän toteutus  
ZigBee-protokollaa käyttäen

Päivämäärä: 15.11.2011

Kieli: Suomi

Sivumäärä:7+53

Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta

Elektroniikan laitos

Professuuri: Sovellettu elektroniikka

Koodi: S-66

Valvoja: Prof. Raimo Sepponen

Ohjaaja: TkL Matti Linnavuo

Vanhusten terveydenhoidon luomat paineet lisääntyvät jatkuvasti vanhusten suhteellisen määrän kasvaessa. Samanaikaisesti terveydenhuoltoon käytettävät resurssit pienenevät. Tämän takia on tärkeätä ohjata olemassa olevat resurssit niihin kohteisiin, jotka sitä eniten tarvitsevat.

Tämä työ käsittelee Jori Reijulan väitöstutkimuksen yhteydessä tehdyn Con-Dis -laitteen kehittämistä langattomaksi järjestelmäksi. Työssä suunnitellaan ja toteutetaan langaton prototyyppijärjestelmä, joka perustuu 5-portaisen datan keräämiseen.

Järjestelmässä käyttäjät antavat dataa käyttämällä langattomia terminaali-laitteita. Terminaalit lähettävät saadun datan halutulle palvelimelle, jossa se tallennetaan taulukoituun muotoon. Järjestelmän tiedonsiirrossa käytetään ZigBee-protokollaa.

Lopussa pohditaan verkon ja verkossa käytettävien laitteiden kehitysmahdollisuuksista. Lisäksi keskustellaan järjestelmän eri sovelluskohteista ja paneudutaan sovelluskohdekohtaisiin vaatimuksiin.

Avainsanat: datan kerääminen, XBee, ZigBee

Author: Heikki Kanninen

Title: A wireless data collecting system implemented using ZigBee protocol

Date: 15.11.2011

Language: Finnish

Number of pages:7+53

Faculty of Electronics, Communications and Automation

Department of Electronics

Professorship: Applied electronics

Code: S-66

Supervisor: Prof. Raimo Sepponen

Instructor: L.Sc. (Tech.) Matti Linnavuo

The pressure caused by elderly health care is increasing as relative amount of elderly people grows. At the same time resources for general health care are decreasing. With mentioned issues combined the resources of general health care are insufficient. As a result, the resources have to be prioritized to targets that need it the most.

During Jori Reijula's doctoral research a data collecting device named Con-Dis was built. Con-Dis was used to collect data from elderly people about their perceived well-being. The used concept was experienced good. This thesis is about developing a wireless system prototype for collecting discrete data using 5 steps.

The system contains 3 different components. Terminal unit is used to collect data from the object. Collecting unit is for maintaining the wireless ZigBee network and to connect computer to the used network. Computer runs the collecting program and saves collected data to predetermined location in a table form.

In the thesis different applications and application specific demands are considered. Also, possible ways to develop the prototype are discussed.

Keywords: data collecting, Xbee, ZigBee

## Esipuhe

Haluan kiittää työn valvojaa, Raimo Sepposta, mielenkiintoisesta aiheesta. Haluan antaa kiitokseni myös työn ohjaajalle, Matti Linnavuolle, jonka avulla tämä työ on saatu lopulliseen muotoonsa.

Otaniemi, 15.11.2011

Heikki Kanninen

# Sisältö

<b>Tiivistelmä</b>	<b>ii</b>
<b>Tiivistelmä (englanniksi)</b>	<b>iii</b>
<b>Esipuhe</b>	<b>iv</b>
<b>Sisällysluettelo</b>	<b>v</b>
<b>Symbolit ja lyhenteet</b>	<b>vii</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2 Työhön liittyvä taustatieto</b>	<b>3</b>
2.1 Väestön ikärakenteen tila . . . . .	4
2.2 Hoidon tarpeen lisääntyminen . . . . .	4
2.3 Koettu hyvinvointi . . . . .	5
2.4 CON-DIS . . . . .	6
2.5 Olemassa olevia äänestys- ja palautteenkeruujärjestelmiä . . . . .	8
2.5.1 Tarjolla olevien ratkaisuiden puutteet . . . . .	10
2.6 Järjestelmälle asetetut tavoitteet . . . . .	10
<b>3 Langattoman tiedonsiirron vaihtoehtoja</b>	<b>12</b>
3.1 WLAN . . . . .	12
3.2 Bluetooth . . . . .	13
3.3 Z-wave . . . . .	13
3.4 ZigBee . . . . .	14
3.5 Käytettävän protokollan valinta . . . . .	14
<b>4 ZigBee</b>	<b>16</b>
4.1 ZigBee-protokollapino . . . . .	16
4.1.1 Kerrosten rakenne . . . . .	17
4.1.2 Kerrosten palveluntarjontamekanismi . . . . .	17
4.1.3 Fyysinen kerros . . . . .	19
4.1.4 Siirtokerros . . . . .	19
4.1.5 Verkkokerros . . . . .	19
4.1.6 Sovelluskerros . . . . .	20
4.2 Langaton mesh-verkko . . . . .	21
4.3 ZigBee-verkko . . . . .	22
4.3.1 Laitetyypit ja hierarkia . . . . .	22
4.3.2 Verkkotopologiat . . . . .	23
4.3.3 Verkon muodostaminen . . . . .	24
4.4 Verkon tiedonsiirto . . . . .	25

<b>5</b>	<b>ZigBee -moduulin toiminta</b>	<b>27</b>
5.1	Tarjolla olevia ZigBee-moduuleita . . . . .	27
5.2	Käytetyn XBee-moduulin perusteita . . . . .	29
5.2.1	XBee-moduulin toimitilat . . . . .	29
5.2.2	XBee-moduulin nukkuminen . . . . .	30
5.2.3	XBee-moduulin toimintamoodit . . . . .	31
5.3	XBee-moduulin toiminta . . . . .	32
<b>6</b>	<b>Järjestelmän kehitys ja toiminta</b>	<b>34</b>
6.1	Käytetty verkko ja verkkolaitteet . . . . .	34
6.2	Työn vaiheet . . . . .	35
6.3	Demolaitteisto . . . . .	35
6.3.1	Laitedemon suunnitelma . . . . .	36
6.4	Järjestelmän prototyyppi . . . . .	37
6.4.1	Terminaalilaitteen toiminta . . . . .	38
6.4.2	Terminaalin ulkoasu . . . . .	39
6.4.3	Käytetyn tietokoneohjelman toiminta . . . . .	40
6.4.4	Laitteen virrankulutus . . . . .	41
6.4.5	Keräyssovellus . . . . .	41
6.4.6	Peli-sovellus . . . . .	42
6.5	Langattoman tiedonkeruujärjestelmän kehittymismahdollisuudet . . . . .	45
6.5.1	Datankeräysverkon kehittymismahdollisuudet . . . . .	45
6.5.2	Terminaalilaitteen kehittymismahdollisuudet . . . . .	46
6.6	Sovelluskohteet ja käytännön toteuttamiskelpoisuus . . . . .	46
6.6.1	Interaktiivisten kertauskysymysten toteuttaminen . . . . .	46
6.6.2	Asiakaspalvelun palautteen kerääminen . . . . .	47
6.6.3	Vanhusten ja vajaatoimintaisten palautteenkeruu . . . . .	48
<b>7</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>49</b>
	<b>Viitteet</b>	<b>51</b>

# Symbolit ja lyhenteet

## Lyhenteet

API	Ohjelmointirajapinta
APL	Sovelluskerros
APS	Sovellusaliapukerros
APSME-SAP	Sovellusaliapukerroksen hallintokokonaisuuden palveluyhdyspiste
APSDE-SAP	Sovellusaliapukerroksen datakokonaisuuden palveluyhdyspiste
CAP	Vapaa liikenteen osa
CCA	Vapaan kanavan arviointi
CFP	Kilpailuton osa
CSMA-CA	kantoaallon tunnistus törmäyksen estolla
FFD	Täyden toiminnan laite
GTS	Varma aikarako
ISM	Teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön tarkoitettu taajuuskaista
MHR	Siirtokerroksen etutunniste
MFR	Siirtokerroksen lopputunniste
MAC	Siirtokerros
MLDE-SAP	Siirtokerroksen datakokonaisuuden palveluyhdyspiste
MLME-SAP	Siirtokerroksen hallintokokonaisuuden palveluyhdyspiste
MPDU	Siirtokerroksen protokolladatayksikkö
MSDU	Siirtokerroksen hyötykuorma
NLDE-SAP	Verkkokerroksen datakokonaisuuden palveluyhdyspiste
NLME-SAP	Verkkokerroksen hallintokokonaisuuden palveluyhdyspiste
NWK	Verkkokerros
PAN	Likiverkko
PD-SAP	Fyysisen kerroksen datapalveluyhteyspiste
PDU	Fyysisen kerroksen hyötykuorma
PHY	Fyysinen kerros
PHR	Fyysisen kerroksen etutunniste
PLME-SAP	Fyysisen kerroksen hallintokokonaisuuden palveluyhdyspiste
RFD	Supistetun toiminnan laite
SHR	Tahdistustunniste
ZDO	ZigBee laiteobjekti

# 1 Johdanto

Teknologian kehityksen myötä langaton tiedonsiirto on noussut tärkeään osaan ihmisten jokapäiväisessä elämässä. Nykyään melkein jokaisella on oma kännykkä, ja suuremmissa kaupungeissa on mahdollista selata internetiä langattoman lähiverkon kautta lähes missä vain. Langattoman tiedonsiirron hyödyntämisen seurauksena on avautunut paljon uusia käytettäviä sovelluksia, joista ei muutama kymmentä vuotta sitten osattu kuvitellakaan.

Tämän kehityksen myötä monet laitteet ovat saaneet alkuperäisten langallisten mallien rinnalle uudet langattomat versiot, kuten tietokoneen hiiri tai näppäimistö. Tällä hetkellä erilaisia langattomia liki- ja lähiverkkoja on tarjolla moniin eri käyttötarkoituksiin. Nämä verkot mahdollistavat langattomat valokytkimet, musiikin lataamisen tietokoneelta kännykkään ja monia muita asioita.

Tämän diplomityön aiheena on langattoman tiedonkeruujärjestelmän toteuttaminen. Työn motivaationa on olemassa olevan Con-Dis -laitteen konseptin kehittäminen. Lähtökohtana työlle on Jori Reijulan tekemä väitöstutkimus, jossa hän perehtyy vanhusten terveydenhuollon tehostamiseen ja terveydentilan luotettavaan selvittämiseen uusien teknologisten ratkaisujen avulla.

Hoidettavien ihmisten terveydentilan tason selvittäminen koettiin tärkeäksi hoitoresursseja tehostavaksi tekijäksi. Tämä parantaa mahdollisuuksia ohjata hoitohenkilökunnan resursseja eniten hoitoa tarvitseville.

Väitöstutkimuksessa koettiin tärkeäksi pystyä selvittämään vanhusten terveydentilan taso, jotta hoitohenkilökunnan resurssit voitaisiin ohjata oikeisiin kohteisiin. Tästä johtuen väitöstutkimuksessa tutkittiin tarkoitusta varten rakennetun elektronisen kyselylaitteen (Con-Dis, kuva 2) toimivuutta vanhuksen koetun hyvinvoinnin selvittämisessä. Laitteella saatuja tuloksia vertailtiin perinteisillä paperipohjaisilla kyselyillä saatuihin tuloksiin. Tutkimuksen perusteella Con-Dis -laitteella saadaan luotettavaa tietoa kohteen kokemasta hyvinvoinnista, joka vastaa todellisuutta yhtä hyvin tai paremmin, kuin perinteisillä menetelmillä saatu tieto.

Koska Con-Dis -laite oli todettu toimivaksi konseptiksi, haluttiin sen kehitystä viedä eteenpäin. Seuraavana askeleena oli Con-Dis -laitteen muuttaminen langattomaksi järjestelmäksi. Tämän diplomityön tarkoituksena on toteuttaa Con-Dis -konseptille langattoman järjestelmän prototyyppi, ja osoittaa sen soveltuvuus haluttuun käyttötarkoitukseen. Tämän tyyppisellä ratkaisulla saataisiin tehostettua aikaisempaa konseptia, ja toiminta olisi mahdollista huomattavasti suuremmassa mittakaavassa.

Seuraavassa kappaleessa kerrotaan tarkemmin tähän työhön liittyvästä taustasta.

Siinä on perehdytty väestön ikärakenteen ja resurssien muutoksen vaikuttamisesta vanhusten terveydenhuoltoon ja hoidossa käytettäviin menetelmiin. Lisäksi perehdytään tarkemmin aikaisemmin mainittuun Con-Dis -laitteeseen ja kehitettävälle järjestelmälle asetettuihin vaatimuksiin.

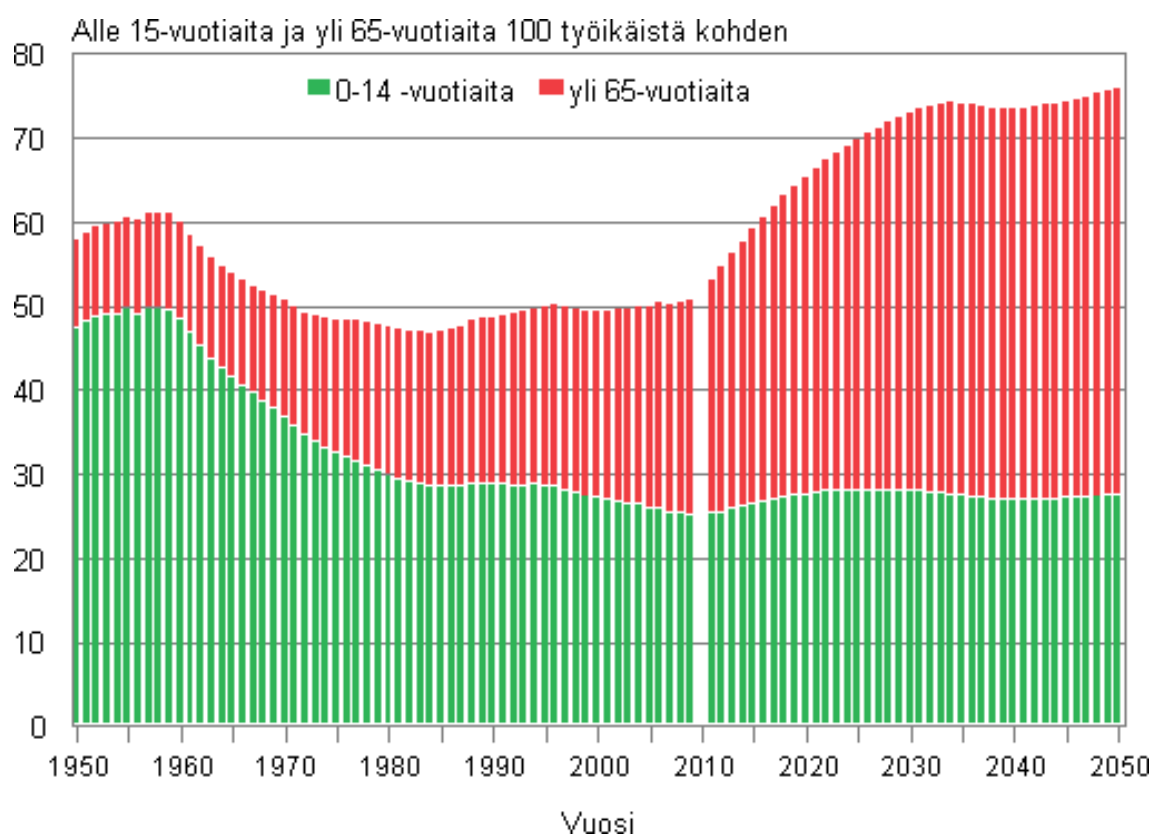
Kolmas ja neljäs kappale käsittelee käytettävän langattoman verkkoprotokollan ominaisuuksia. Kolmannessa kappaleessa esitellään muutamia olemassa olevia verkkoprotokollia ja niiden ominaisuuksia lyhyesti. Neljännessä kappaleessa perehdytään tarkemmin ZigBee:n perusteisiin ja esitellään verkkolaitteiden välisen kommunikation toteutusta.

Viides ja kuudes kappale keskittyy työn käytännölliseen osuuteen. Viidennessä kappaleessa kerrotaan käytetyn ZigBee -moduulin valinnasta ja valitun moduulin toiminnasta. Kuudennessa kappaleessa keskitytään järjestelmän suunnitteluun ja toteuttamiseen. Kappaleessa esitellään kaksi langattomalle järjestelmälle kehitettyä sovellusta, ja kerrotaan järjestelmän mahdollisista kehitysmahdollisuuksista.

## 2 Työhön liittyvä taustatieto

Tämän diplomityön lähtökohtana on Jori Reijulan tekemä väitöstutkimus, jossa tutkittiin vanhusten kokeman hyvinvoinnin tutkimista elektronista kyselylaitetta (Con-Dis) käyttäen. Tutkimuksista saatujen hyvien tulosten pohjalta haluttiin käytettyä konseptia kehittää eteenpäin, mikä on tämän diplomityön tarkoituksena.

Väitöskirjassaan Reijula kertoo alati kasvavasta vanhusten suhteellisesta osuudesta väestössä, ja siitä seuraavista terveydenhuollollisista haasteista. Hän tutkii myös nykyaikaisen teknologian tarjoamia menetelmiä vanhusten hyvinvoinnin itseenäiseen seuraamiseen. Väitöstutkimuksessaan Reijula suorittaa tutkimuksen vanhusten hyvinvoinnin selvittämisen luotettavuudesta elektronista menetelmää käyttäen. Seuraavassa tullaan käymään läpi Reijulan väitöskirjassa esille tuotuja asioita, ja kerrotaan diplomityöhön liittyvän järjestelmän toiminnallisista vaatimuksista.



Kuva 1: Suomen väestön huoltosuhde ja ennuste 1950-2050 [1]

## 2.1 Väestön ikärakenteen tila

Suomessa ja muissa teollisuusmaissa vanhempien ihmisten suhteellinen määrä kasvaa suurella vauhdilla. Tähän paljon vaikuttavia tekijöitä ovat länsimaisen lääketieteen ja teknologian kehitys, jonka johdosta ihmiset elinikä on pidentynyt. Tästä johtuen jo lähitulevaisuudessa tulee merkittävä osa Suomen väestöstä muodostumaan vanhuksista, jotka tarvitsevat hoitoa ja seurantaa enenevissä määrin.

Kuvassa 1 nähdään tilastokeskuksen tekemä tilastohistoria/-ennuste Suomen huoltosuhteesta, josta voidaan nähdä lasten ja vanhusten suhteellinen osuus työikäiseen väestöön nähden. Kuvaajan alalaidassa olevat vihreät palkit osoittavat alle 14-vuotiaiden lasten ja ylempänä olevat punaiset palkkien osuudet osoittavat yli 65-vuotiaiden suhteellista osuutta työikäisiin (15-65 V) ihmisiin nähden. Kuten kuvaajasta voidaan havaita on vanhuksien osuus väestöstä kasvanut jatkuvasti, ja ennusteiden mukaan sama trendi tulee jatkumaan kasvavalla vauhdilla. Tilastojen mukaan yli 65-vuotiaiden osuus suomalaisista oli vuonna 2008 noin 12%, ja on ennustettu, että vuonna 2020 vanhusten osuus on jo noin 18%. [1]

## 2.2 Hoidon tarpeen lisääntyminen

Kaikesta huolimatta kehitys ei ole kuitenkaan vaikuttanut kroonisten sairauksien hoitoon samalla tavalla. Samaan aikaan eliniän pidentymisen kanssa vanhuksille yleisten sairauksien, kuten 2-tyypin diabeteksen ja sydän- ja verisuonisairauksien määrä on noussut. Tästä seuraa että vanhusten aiheuttamat rasitteet terveydenhuollolle ovat jatkuvasti kasvussa. [2]

Vanhusten suhteellisen osuuden lisääntyminen ja lisääntyvät sairaudet lisäävät huomattavasti hoidon ja kunnonseurannan tarvetta. Lisäksi teollisuusmaissa tiukennetaan terveydenhoidon rahoitusta joten resurssit eivät kasva tarpeen vaatimalla tavalla. Jo lähitulevaisuudessa julkisen terveydenhoidon resurssit eivät riitä kunnolliseen palveluun nykyisiä hoitokonsepteja käyttäen. [2]

Resurssien vähydestä johtuen hoitohenkilökunnan kotikäyntien määrä tulee vähenemään. Tässä valossa on tärkeätä pyrkiä kehittämään uusia tehokkaampia konsepteja, jotka keskittyvät enemmän vanhusten omatoimiseen kunnonseurantaan ja lääkitsemiseen. Tästä johtuen on syntynyt tarve ja on viime vuosien aikana myös kehitetty uusia teknologisia ratkaisuja, jotka mahdollistavat paremmin vanhuksen itsenäisen terveydentilan seuraamisen ja ylläpitämisen. [2]

Käytettyjen laitteiden tulisi olla jollakin tavalla yhteydessä hoitohenkilökunnan tietokantoihin, jolloin olisi mahdollista saada etänä reaaliaikaista dataa potilaan

voinnista. Näin hoitohenkilökunnan resurssien käyttöä saataisiin tehostettua ja voitaisiin keskittyä niihin potilaisiin, jotka oikeasti tarvitsevat apua. [2]

Yhtenä terveydenhuoltoon suunnattuna laitteena voidaan mainita Intel:n kehittämä "Health Guide PHS6000", jonka avulla lääkäri voi seurata potilaan elintoimintoja etänä. Laite antaa myös mahdollisuuden videokonferenssin pitämiseen lääkärin ja potilaan välillä. [2]

Ennaltaehkäisevä hoito on varsinkin vanhusten keskuudessa tärkeää, koska usein sairauden iskiessä vanhukseen on sairauden vaatiman hoidon määrä huomattavasti suurempi heikomman elimistön toiminnan johdosta. Toinen ennaltaehkäisevän hoidon puolesta puhuva fakta on vanhusten melko heikko ennuste kunnon palaamisesta ennalleen.

Vanhuksen joutuessa sairaalahoitoon sairauden takia, ei vanhus usein pysty enää palaamaan kotiin, vaan hänet joudutaan pitämään jonkinlaisessa hoidossa loppuelämän ajan. [2] Tämän takia aktiivinen seuranta on tärkeää, jotta voidaan havaita muutokset potilaan kunnossa jo niin varhaisessa vaiheessa, että niihin pystytään reagoimaan hyvissä ajoin jo ennen sairauden puhkeamista. Näin voidaan estää vanhuksia joutumasta sairaalahoitoon, ja he voivat elää kotona pidempään. Kotona elämisellä on paljon merkitystä myös vanhuksen psyykkiselle hyvinvoinnille, joka heijastuu suoraan myös fyysiseen kuntoon ja terveyteen.

### 2.3 Koettu hyvinvointi

Viimeisten vuosisatojen ajan "hyvä terveydentila" on tarkoittanut sairauksien olemattomuutta. Kuitenkaan pelkästään sairauksien fyysiseen havaitsemiseen keskittyvä ennaltaehkäisevä vanhusten terveydenhoito ei ole tyydyttävä menetelmä, koska usein ensimmäisten merkkien ilmaantuessa sairaus saattaa olla edennyt jo pitkälle. [2]

Tämän seurauksena terveydenhuollon ammattilaiset ovat yrittäneet muuttaa asiaan liittyviä käsityksiä. Uudemman käsityksen mukaan yleinen terveydentila koostuu ihmisen fyysisestä ja psyykkisestä hyvinvoinnista ja sitä on tarkasteltava holistisena ilmiönä, jossa keho ja mieli ovat tasapainossa. Mieliala, kipu, elämänlaatu ja koettu hyvinvointi ovat parametreja, jotka ilmaisevat psyykkisen hyvinvoinnin kokemista. Näiden parametrien on huomattu tehokkaasti ilmaisevan sairauksien alkamista, joten ne ovat tärkeitä sairauksien ennaltaehkäisevässä hoidossa. [2]

Näitä kokemuksia ja tiloja on perinteisesti selvitetty paperipohjaisilla kyselyillä, jotka potilas täyttää. Ne ovat kuitenkin yleensä hyvin pitkiä ja aikaa vieviä. Usein vanhusten tilanteessa kyselyn täyttäminen vaatii hoitohenkilökunnan apua. Kyselyi-

den ollessa työläitä tehdä ja analysoida vaatii niiden tekeminen paljon hoitohenkilökunnan resursseja. Tämän takia niitä ei voida tehdä päivittäin, vaan toistuvuus on kerran viikossa tai kuukaudessa. Harvemmin tehtävissä kyselyissä on tekijän mielentilan hetkellisillä muutoksilla suurempi merkitys kokonaisuudessa otantojen vähyden takia. Huonosta mielentilasta johtuvat vääristyneet tulokset voivat johtaa myös virheelliseen arvioon potilaan yleistä tilaa koskien. [2]

Paperipohjaisten kyselyjen rinnalle on kehitetty vastaavanlaisia elektronisia kyselymenetelmiä, joiden avulla kyselyiden täyttäminen ja analysointi tulee helpommaksi. Paperipohjaisten kyselyiden arviointi vaatii tietojen kirjaamisen tietokoneelle ennen analysointia, kun taas sähköiset kyselyt voidaan analysoida saman tien. [2]

Vaikka vanhusten keskuudessa on vahvoja ennakkokäsityksiä elektronisia laitteita vastaan, kokemusten perusteella vanhukset pitävät elektronisia kyselymenetelmiä miellyttävämpinä tehdä. Jori Reijulan väitöskirjaan liittyvä Con-Dis -laite on uuden teknologian tuomista elektronisista kyselylaitteista. Väitöstutkimuksen yhteydessä tehdyissä kokeissa vanhuksilta kysyttiin Con-Dis -laitteen avulla koettua hyvinvointia, tyytyväisyyttä saatuun palveluun. [2]

## 2.4 CON-DIS

Con-Dis on vanhuksille suunnattu palautteenkeräyslaite, joka on kehitetty Jori Reijulan väitöskirjan teon yhteydessä. Yksi väitöskirjan tarkoitus oli selvittää uuden teknologisen menetelmän (Con-Dis) toimivuuden vanhusten kokeman yleisen hyvinvoinnin selvittämisessä, ja arvioida Con-Dis -laitteeseen perustuvan palvelukonseptin sovellettavuutta terveydenhuollossa. Laitella kerättiin tietoja vanhuksien kokemasta yleisestä hyvinvoinnista pari kertaa päivässä. [2]

Con-Dis -laitteen tarkoituksena on tarjota helppokäyttöinen ja vaivaton tapa selvittää vanhuksen hyvinvoinnin tilaa ilman hoitohenkilökunnan läsnäoloa. Kyselyyn vastaamisen vaivattomuus on tärkeä myös sen tekemisen kannalta, koska jos kysely koetaan hankalaksi tehdä jää se helposti tekemättä. [2]

Con-Dis -laitteelta haluttiin kyky säännölliseen palautteen keräämiseen, ja menetelmän tulisi olla nopeampi, tehokkaampi ja tulosten tulisi olla johdonmukaisempia kuin olemassa olevien kyselyiden. Kyselytulosten täytyi olla helposti ja luotettavasti siirrettävissä PC:lle analysoitaviksi.[2]

Con-Dis -laitteesta oli tarkoitus tehdä riittävän selkeä ja yksinkertainen, jotta sitä haluttaisiin käyttää, ja että sen käyttäminen olisi mahdollista itsenäisesti vanhuksen toimesta. Näin hoitohenkilökunta saisi jatkuvaa ja luotettavaa tietoa vanhuksen kokemasta hyvinvoinnista. [2]

Laitteen vähimmäisvaatimuksena oli palautteen antamisessa kolme painonappia, joilla voidaan ilmaista ihmisen hyvinvoinnin perustunteukset: koetaanko hyvinvointi paremmaksi kuin normaalisti, normaaliksi vai huonommaksi kuin normaalisti. Useammalla painonapilla olisi ollut mahdollista kuvata potilaan tilaa tarkemmin, mutta kolmen painikkeen koettiin riittävän ilmaisemaan koetun hyvinvoinnin tilaa. [2]

Kuvassa 2 on esitettynä Con-Dis-laite. Etupaneelista löytyy kolme hymiöillä varustettua painonappia. Painonapeilla voidaan ilmaista yleistä hyvinvointia kolmella eri tilaa: normaalia huonompi, normaali, normaalia parempi. Painonappien päällä olevien hymiöiden avulla on pyritty selkeästi osoittamaan painonappien edustamat tilat. Painonappien painamisen yhteydessä toimii myös sumneri, jonka tarkoituksena on vahvistaa painonapin painaminen. Näin vanhus tietää, että painonappia on oikeasti painettu. [2]

Painonappien päällä on myös LCD-näyttö. Näyttöä käytettiin pääasiassa laitteen alkuasetusten määrittämiseen asettamalla laitteelle aika ja mahdolliset hälytykset. Hälytyksiä käytettiin varmistamaan, että vanhus muistaa vastata kyselyyn säännöllisesti. Normaalityllassa näytöllä esitettiin hetkellinen aika laitteen oikean toiminnan



Kuva 2: Con-Dis-laite

vahvistamiseksi. [2]

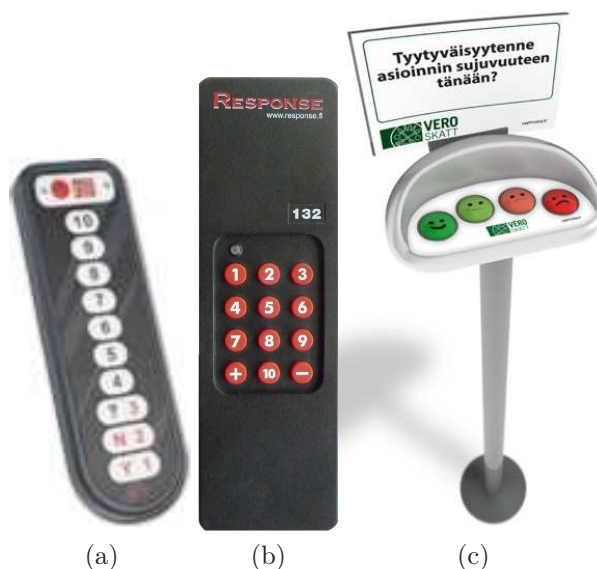
Perinteiset kyselyt on paperipohjaisia, ja työläyden lisäksi ovat usein myös vääristyneitä erinäisistä ympäristöön liittyvistä tekijöistä johtuen. Tämän lisäksi työläydestä johtuu, että paperipohjaisilla kyselyillä saatava data on hyvin epäjatkuvaa, koska niitä ei tehdä päivittäin.

Con-Dis -laitteen kaltaisen elektronisen tiedonkeräysjärjestelmän tapauksessa ympäristöstä johtuva vääristymä on huomattavasti pienempi laitteen antaman anonyymiteetin tunteen takia. Kun potilas vastaa Con-Dis -kyselyyn ei hänellä ole pelkoa siitä, että joku hoitohenkilökunnasta näkisi annetut vastaukset ja siksi saadut tulokset ovat todennukaisempia paperipohjaisiin kyselyihin nähden. Lisäksi Con-Dis -kyselyn yksinkertaisuuden takia voidaan laitteella kerätä virtuaalisesti jatkuvaa dataa vastattaessa kysymyksiin useita kertoja päivässä. Tämä vähentää sattuman vaikutusta kyselyistä saatuihin tuloksiin. [2]

Vastattaessa Con-Dis -kyselyyn ei potilaalla ole pelkoa siitä, että joku hoitohenkilökunnasta näkisi annetun vastauksen ja näin saadut tulokset olisivat todennukaisempia paperipohjaisiin kyselyihin nähden.

## 2.5 Olemassa olevia äänestys- ja palautteenkeruujärjestelmiä

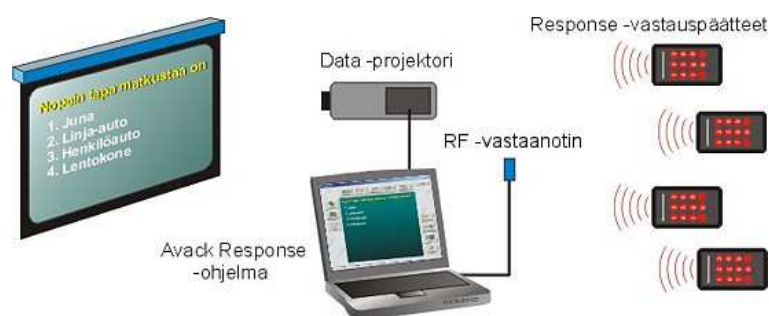
Nykyisin on olemassa erilaisia langattomia palautteenkeruu- ja äänestysjärjestelmiä. Suomessa toimii useampia yrityksiä, jotka tarjoavat äänestysjärjestelmien vuokraus-



Kuva 3: Tarjolla olevia palautteenkeruu- ja äänestyslaitteita a) Intervote b) Response c) HappyOrNot

palveluita. Seuraavassa esitellään 3 tarjolla olevaa äänestys-/ palautteenkeruupalvelua antamaan kuvaa olemassa olevista järjestelmistä.

Intervote (laite kuvassa 3a) on alankomaalainen yritys, joka vuokraa laitteistoja interaktiiviseen luennointiin. Laitteisto koostuu perusasemasta ja äänestyspääteestä, jossa on 10 painiketta vastauksien antamista varten. Jokaisella terminaalilaitteella on oma tunnus, joka mahdollistaa myös arvioitavien kyselyiden järjestämisen. Laitteisto käyttää tiedonsiirtoon 2,4 GHz:n taajuusaluetta 50 kanavalla. Yhteen kanavaan on mahdollista sisällyttää 250 laitetta, ja verkon ilmoitettu kantama on 100m avoimessa tilassa. [3]



Kuva 4: Avack Response

Toinen vastaavanlaisia palveluita tarjoava yritys on suomalainen Avack Oy, joka myy ja vuokraa laitteistoja. Avack tarjoaa tietokoneella toimivaa langatonta kokousjärjestelmää, joka mahdollistaa puheenvuorojen antamisen ja äänestysten toteuttamisen. Järjestelmään sisältyy tietokoneella pyörivä ohjelma, jolla hallitaan äänestyksen kulkua, tietokoneen RF-vastaanotin ja kuvassa 3b esitetty äänestyspääte. Järjestelmällä on mahdollista analysoida ja esittää äänestystulokset lähes reaaliaikaisesti. Kuvassa 4 on esitetty Avack:n tarjoama palvelu kiteytettynä. Tietokoneelta näytetään kysymys, johon vastataan äänestyspääteillä. RF-vastaanottimella otetaan äänet vastaan ja käsitellään tietokoneohjelmalla, jonka jälkeen tulokset ovat valmiit esitettäväksi. Intervoten tapaan jokaisella äänestyspääteellä on oma tunnuksensa, jonka avulla äänet voidaan haluttaessa kirjata henkilökohtaisina. [4]

Kolmantena esiteltävä järjestelmä poikkeaa kahdesta aikaisemmasta tuotteesta. Suomalainen HappyOrNot tarjoaa erilaisille kaupoille ja asiakaspalvelun tarjoajille menetelmän reaaliaikaiseen palautteen keräämiseen. Yrityksen palvelukonseptiin kuuluu palautteen kerääminen ja analysointi, jolloin asiakas saa valmiiksi tehdyn raportin mielipidekyselyn tuloksista. Kuvassa 3c on esitetty HappyOrNot-palautteenkeruupääte, jolla kerätään asiakkailta 4-portaista palautedataa. HappyOrNot tarjoaa yrityksille uuden tehokkaamman tavan asiakkaiden tyytyväisyyden

selvittämiseen. [5]

### 2.5.1 Tarjolla olevien ratkaisuiden puutteet

Markkinoilla on tarjolla järjestelmiä, jotka tekevät jokseenkin saman, kuin tässä työssä kehitetty järjestelmä. Kuitenkin kaikki edellä mainitut järjestelmät on tarkoitettu käyttöön, jossa laitteet toimivat yhdessä tilassa, ja ovat riippuvaisia suorasta yhteydestä keskuslaitteeseen. Lähimpänä toteutettavaa sovellusta on HappyOrNot, joka välittää reaaliaikaista tietoa yrityksen palvelimelle.

Edellä esitetyillä järjestelmillä on se yhteinen piirre, että ne ovat tiedonsiirroiltaan yksisuuntaisia. Ne myös käyttävät verkkotopologiaa, jossa kaikki äänestyspäätteet kommunikoivat suoraan keskuslaitteen kanssa. Tämä rajoittaa käytettävän verkon fyysikaalista aluetta.

Kaikilla esitellyillä laitteilla on puutteita kommunikoinnin kaksisuuntaisuuden ja laajojen verkkojen luomisen kanssa. Vaikka työn aihetta jokseenkin vastaavia järjestelmiä on jo olemassa, on tarjonnassa vielä aukkoja. Tämä voi johtua kaupallisen mielenkiinnon puutteesta kyseiseen alueeseen.

## 2.6 Järjestelmälle asetetut tavoitteet

Con-Dis -laitteesta halutaan toteuttaa seuraava kehitysversio, jolla on tarkoitus korjata muutamia Con-Dis-laitteen käyttöä rajoittavia ominaisuuksia. Tärkeimpiä muutoskohteina ovat muistikortti kerätyn tiedon tallennuksessa ja laitteen tehonsyöttö sähköverkosta.

Muistikortin käyttäminen on yksinkertainen, mutta rajallinen ja hidas tiedon tallennus- ja siirtomenetelmä. Yhtäjaksoisen tiedonkeruun rajoittaa kortin kapasiteetti. Lisäksi tiedon siirtäminen vaatii kortin irrottamisen laitteesta. Kerätyn tiedon saaminen analysoitavaksi on siis hidasta reaaliaikaisiin menetelmiin verrattuna ja vaatii manuaalisia toimenpiteitä.

Verkkokäyttöisyys asettaa rajoituksia laitteen sijoitukselle. Lisäksi laitteen siirtäminen vaatii sähköverkosta irrottamisen, jonka jälkeen joudutaan se alustamaan uudelleen. Sähköverkosta tehonsa saava laite on myös alttiina sähkökatkoille tai ylijännitepiikeille. Paristoja käyttämällä päästään eroon edellä mainituista ongelmista. Paristojen tarjoama energia on rajallinen, mutta käytettävässä sovelluksessa laitteen aktiivinen aika on huomattavasti lepoaikaa pienempi, joten virrankulutus koostuu lähinnä komponenttien lepovirrasta, joka voidaan saada hyvin pieneksi.

Suurin langattomuudella saavutettava hyöty on vapaus laitteen sijoittelussa.

Langatonta laitetta voi siirrellä mielivaltaisesti ja haluttaessa sitä voidaan jopa kuljettaa mukana, kunhan pysytään langattoman verkon kantaman sisällä.

Työn vaatimuksena oli langattomalla tiedonsiirrolla toimivan palautteenkeruujärjestelmän prototyypin toteuttaminen. Järjestelmään kuuluu terminaaliyksiköitä ja keräysyksikkö, jonka avulla ohjataan verkkoa ja vastaanotetaan terminaaleilta tulevia tietoja. Terminaaliyksiköiden palaute kerätään 5-portaisen asteikon avulla. Terminaalilaitteisiin oli myös sisällytettävä palaute laitteen käyttäjälle esim. onnistuneen painalluksen ilmaisuun. Käytettävän protokollan on toimittava kahdensuuntaisesti, jolloin tarvittaessa keräysyksikkö voi lähettää viestejä terminaalin käyttäjälle, esimerkiksi kehotuksen palautteen antamiseen. Tärkeänä verkkoprotokollan vaatimuksena oli laajojen vähintään 128 yksikköä sisältävien verkkojen tukeminen, jotta keskitetty tiedonkeruu olisi toteutettavissa myös suuremmissa laitoksissa.

### 3 Langattoman tiedonsiirron vaihtoehtoja

Nykyisin on tarjolla suuri määrä langattomia lähi- ja likiverkkoja, joita on kehitetty erilaisiin käyttötarkoituksiin. Tätä työtä varten halutaan langaton verkko, jolla saadaan siirrettyä pieni määrä tietoa taloudellisesti suurelta määrältä terminaaleja yhdelle keskusyksikölle. Lisäksi verkolta halutaan mahdollisuutta kuljettaa dataa molempiin suuntiin. Seuraavaksi tarkastellaan muutamia tarjolla olevia langattomia tekniikoita, jotka voisivat olla soveltuvia tässä työssä toteutettavaan sovellukseen. Tarkasteltavina langattomina verkkovaihtoehtoina ovat Wi-Fi, Bluetooth, Z-wave ja ZigBee.

Seuraavaksi esitettävät protokollat käyttävät hyväkseen ISM-kaistaa (teollisuus, tiede ja lääketieteellinen), joka on maailmanlaajuisesti tai alueellisesti vapaa taajuusalue. ISM-kaista käsittää monia taajuusalueita, joihin kuuluvat muun muassa 860/908 MHz:n, 2,45 GHz:n ja 5,8 GHz:n taajuusalueet. Sen käyttämiseen ei tarvita erillistä lupaa, mutta radiolaitteiden teholle ja antennin suuntaavuudelle on olemassa tiettyjä rajoituksia. ISM-kaista on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön, mutta sitä käytetään myös kodin elektroniikassa ja tietoliikenteessä.

#### 3.1 WLAN

WLAN on korkean siirtonopeuden langaton lähiverkkotekniikka, joka on luotu mahdollistamaan tietokoneiden yhdistäminen verkkoon langattomasti. WLAN perustuu IEEE 802.11-standardiin, joka vahvistettiin ensimmäisen kerran 1997 ja silloinen siirtonopeus oli 1-2 Mbit/s. Nykyisin siirtonopeudet vaihtelevat standardista riippuen 11-100 Mbit/s.

WLAN käyttää ISB-kaistan taajuusalueita 2.4/5 GHz. Verkon arkkitehtuuri perustuu yhteyspisteiden käyttöön, jotka ovat kiinteitä. Ne voivat olla yhteydessä lähiverkkoon kaapelin avulla, tai toiseen yhteyspisteeseen langattomasti. Langattomat verkkolaitteet sitten käyttävät yhteyspisteitä muodostaessaan yhteyden muihin verkossa oleviin laitteisiin. WLAN-yhteyspisteiden kantama on sisätiloissa noin 150 m, ja siirtonopeus on verrannollinen yhteyspisteiden etäisyyteen. Kantama riippuu tietyt ympäristöstä ja yhteyspisteen lähetystehosta. [6]

WLAN-verkko käyttää taajuushyppelyä verkon sisäisen kommunikaation parantamiseksi ja ulkoisten häiriöiden vaikutuksen vähentämiseksi. Tästä johtuen verkossa olevien laitteiden tulee olla synkronoituja taajuushyppelyyn, jonka johdosta laitteiden tulee olla jatkuvasti aktiivisia yhteyden ylläpitämiseksi. Pääsääntöises-

ti sovelluksena on verkkoyhteyden tarjoaminen erilaisille tietokoneille, kuten tietokoneille, kämmentietokoneille ja kännyköille. [6]

## 3.2 Bluetooth

Bluetooth on Ericssonin kehittämä langaton likiverkkoprotokolla, joka on nykyisin hyvin yleisesti käytössä. Se on alun perin kehitetty mahdollistamaan kännykän langaton yhdistäminen oheislaitteisiin. Tällä hetkellä erilaisia käyttökohteita on jo lukematon määrä. Joinain käyttökohteina voidaan mainita kännykän langaton hands-free, kännykän ja tietokoneen välinen datansiirto ja langattomat hiiret, näppäimistöt ja peliohjaimet (PS3). Bluetooth:n siirtonopeus on 2-3 Mbit/s. [6]

Bluetooth on tarkoitettu tuki-/oheislaitteille, jotka ovat jatkuvasti aktiivisena verkossa. Verkon toiminta edellyttää, että laitteet tuntevat naapurinsa, ja laitteiden välillä täytyy olla valmiiksi vahvistettu yhteys, joka luodaan kahden verkkolaitteen välille. Verkon kantoalue on noin 30 m. [6]

Bluetooth käyttää piconet-verkkotopologiaa. Se on tähtiverkkotopologia, johon kuuluu yksi isäntä, joka on vastuussa verkon toiminnasta, ja enintään seitsemän yhtä aikaa aktiivisena olevaa orjaa. Orjalaitteet eivät pysty kommunikoimaan suoraan keskenään, vaan kaikki kommunikaatio tapahtuu aina isännän välityksellä. [6]

## 3.3 Z-wave

Z-wave on yksityinen kotiautomaatioon suunnattu langaton verkkoprotokolla. Se on tarkoitettu anturi- ja käyttölaiteverkkoihin. Verkko käyttää 860/908 MHz:n taajuusalueita ja sen siirtonopeus on 40 kbit/s. Z-wave -verkko voi sisältää 232 solmua, joita on kahta tyyppiä: ohjain ja orja. [7]

Ohjaimia on kahta eri tyyppiä. Kannettava ohjain on paristokäyttöinen ja voi liikkua verkossa. Sillä voidaan ohjata verkossa olevia laitteita ja lisätä uusia solmuja verkkoon. Staattinen ohjain on ensisijainen ohjain ja on nimensä mukaisesti paikallaan. Se on verkosta syötetty ja aina kuuntelutilassa, jolloin muut laitteet voivat kommunikoida sen kanssa koska tahansa. Staattisella ohjaimella on tallennettuna viimeisin verkkotaulukko, jossa on tallennettuna kaikkien solmujen väliset yhteydet. [7]

Orjalaitteet ovat hyvin yksinkertaisia, eivätkä aktiivisesti osallistu kommunikaatioon. Ne eivät itse pysty aloittamaan lähetystä, elleivät ne vastaa ohjaimen pyyntöön. Orjalaitteita voidaan käyttää myös reitittämisessä, jolloin ne ovat aina kuuntelutilassa. [7]

Laitteiden kantomatka on noin 30 m, ja viestejä voidaan välittää neljän solmun päähän. Z-wave käyttää mesh-verkkoa, jolloin viestien kulku voidaan uudelleen reitittää vanhan mennessä poikki. [7]

### 3.4 ZigBee

ZigBee on teollisuuden automaation tarpeisiin suunniteltu langaton verkkoprotokolla, jonka toiminnallisuuden pohjana on IEEE 802.15.4 -standardi. Se kuuluu matalan siirtokaistan omaaviin langattomiin likiverkkoihin (LR-RF PAN). ZigBee käyttää kahta eri ISM-kaistan taajuusaluetta 2,45 GHz ja 860/908 MHz. Suurin mahdollinen siirtonopeus saavutetaan 2,45 GHz:n kaistalla, ja se on 250 Kbit/s. [8]

Zigbee:llä on mahdollista luoda verkkoja joiden solmumäärä on yli 56000. Verkon laitehierarkia muodostuu kolmesta eri portaasta: koordinaattori, reititin ja loppulaite. Kaikki samassa verkossa olevat laitteet pystyvät kommunikoimaan keskenään suoraan tai välillisesti. ZigBee mahdollistaa monia verkkotopologioita, kuten tähti- ja peer-to-peer -verkko. [8]

ZigBee:n solmujen kantomatka on noin 30 metriä. Reittien pituudella ei ole mitään ylärajaa, jolloin ZigBee:n avulla voidaan kattaa suuriakin alueita vaivattomasti. [6]

### 3.5 Käytettävän protokollan valinta

Edellä on esitetty 4 esimerkkiä tarjolla olevista vaihtoehdoista. Näistä neljästä vaihtoehdosta soveltuvimmat kandidaatit ovat Z-wave ja ZigBee.

Koska työssä toteutettavassa sovelluksessa käytetään verkkoa suhteellisen harvoin (alle 100 kertaa päivässä), ei ole tarvetta laitteiden jatkuvalla aktiiviselle verkkotoiminnalle. Jatkuva aktiivisuus kuluttaa myös laitteiden paristoja ja lyhentää niiden elinaikaa. Myös sovelluksessa lähetettävien pakettien koko on hyvin pieni (alle 100 bittiä), jolloin ei ole tarvetta suurille siirtonopeuksille. Bluetooth ja WLAN voidaan poistaa mahdollisista vaihtoehdoista niiden vaatiman jatkuvan aktiivisen verkkotoiminnan ja turhan suuren siirtonopeuden perusteella. Myös Bluetooth:n verkon koko ei ole riittävä tyydyttämään sovelluksen vaatimuksia.

Z-wave ja Zigbee on suunnattu hyvin samankaltaisiin sovelluskohteisiin. Molempien kohteena ovat ohjaus- ja anturiverkot. Yhteistä on pieni siirtonopeus ja kyky pysyä verkossa pitkiäkin aikoja passiivisessa tilassa. Z-wave:n heikkoutena on protokollan yksityisyys jolloin sen käyttäminen ei mahdollisesti ole yhtä vapaata, kuin ZigBee:llä. Lisäksi Z-waven loppulaitteet vaativat aina pyynnön viestien lähettä-

miseen. Tämän seurauksena terminaaleille annettujen palautteiden lähettäminen ei Z-wave:a käytettäessä tapahdu automaattisesti, jolloin tietoja täytyy erikseen kysyä. Tällöin tietojen siirtäminen hankaloituu, kun taas ZigBee:llä ei ole tällaista ongelmaa.

Tarkastelujen jälkeen ZigBee osoittautui parhaaksi vaihtoehdoksi käyttää työssä toteutettavassa sovelluksessa. Seuraavassa luvussa tutustutaan tarkemmin ZigBee-protokollaan ja sen toimintaan.

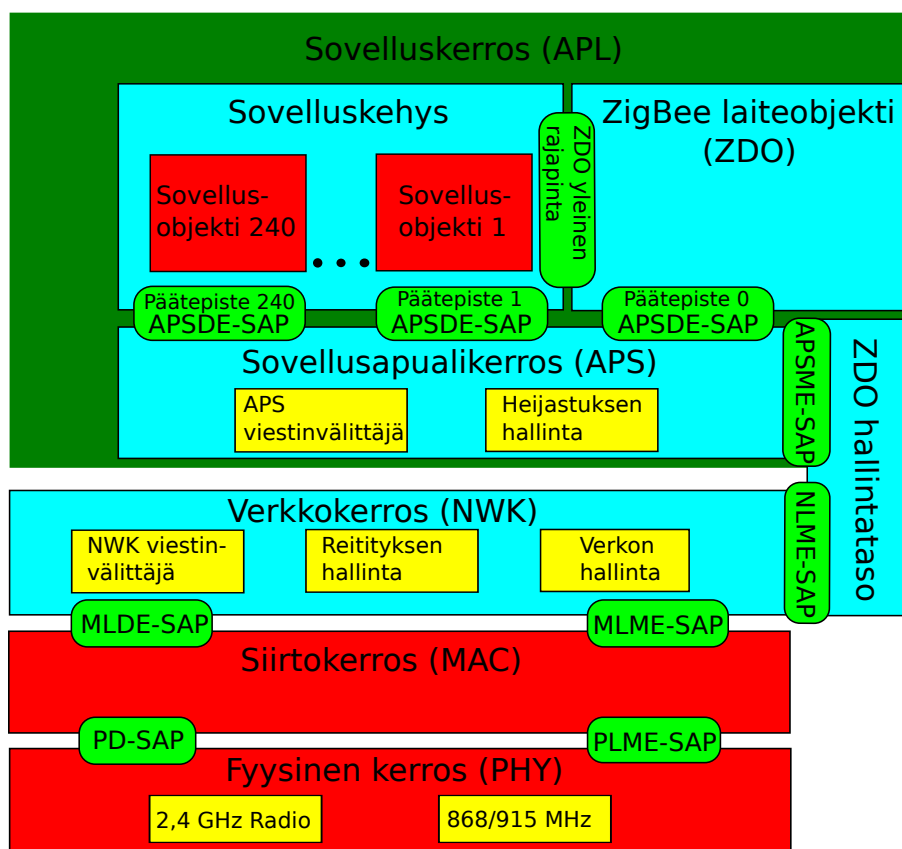
## 4 ZigBee

ZigBee on IEEE 802.15.4 standardiin pohjautuva pienille siirtonopeuksille tarkoitettu likiverkko. Se on alun perin tarkoitettu teollisuuden sensoreiden langattomaan seurantaan. Seuraavassa kerrotaan tarkemmin ZigBee:n toiminnasta.

### 4.1 ZigBee-protokollapino

Zigbee noudattaa kansainvälisen standardointiorganisaation OSI-mallia, jossa tiedonsiirtojärjestelmä on jaettu pienempiin kerroksiin. Kerrokset koostuvat samanlaisista funktioista, jotka tarjoavat palveluita ylempänä olevalle kerrokselle, ja ottavat palveluita vastaan alempana olevalta kerrokselta.

Verkon protokollapinon toiminnan pohjana on IEEE 802.15.4 standardin määrittämät fyysinen kerros (PHY) ja siirtokerros (MAC). Ylemmät kerrokset on määritellyt ZigBee-Allianssi. Nämä kerrokset ovat verkkokerros (NWK) ja sovelluskerros (APL), johon kuuluu sovelluksen tukialikerros (APS), sovelluskehys ja ZigBee laiteobjekti (ZDO).



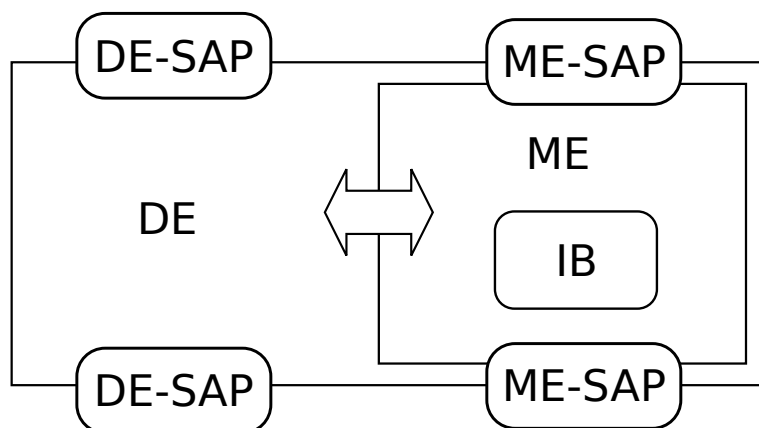
Kuva 5: ZigBee-protokollapino

Kuvassa 5 on esitetty ZigBee-protokollapinon rakenne. IEEE-standardin määrittelemät osat on merkitty punaisella värillä ja ZigBee-allianssin määrittelemät osat sinisellä. Tummanvihreällä merkityn alueen toiminnan määrittää lopullisen järjestelmän valmistaja, joka sovittaa laitteiden ominaisuudet haluttuun sovellukseen sopiviksi.

#### 4.1.1 Kerrosten rakenne

Kaikki protokollapinon kerrokset muodostuvat kahdesta osasta: datakokonaisuus ja hallintakokonaisuus. Datakokonaisuuden (DE) tehtävänä on käsitellä kerrokselle annettua dataa ja tarjota datapalveluita muille kerroksille. Hallintakokonaisuus (ME) säilyttää kerrokseen liittyvät tiedot tietokannassa (IB) ja tarjoaa hallintapalveluita muille kerroksille. Palveluyhdyspisteet (SAP) tarjoavat rajapinnan vierekkäisten kerrosten välille.[8]

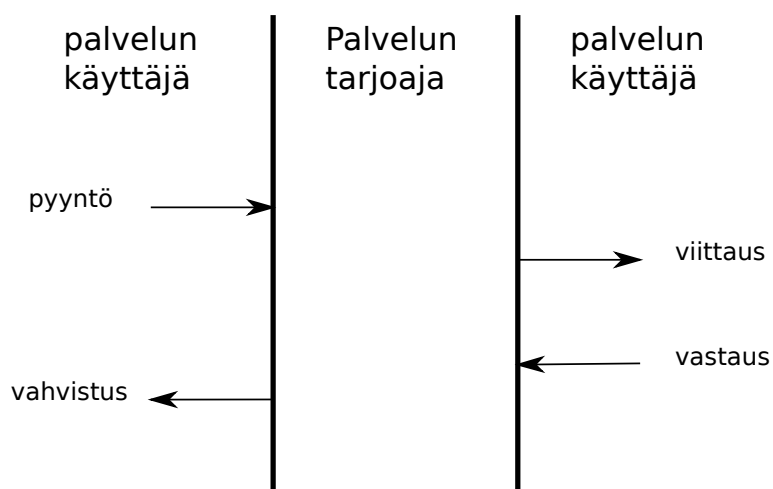
Kuvassa 6 on esitetty kuva protokollakerroksen rakenteesta. Datakokonaisuuden ja hallintakokonaisuuden välinen nuoli osoittaa kokonaisuuksien välistä palveluiden jakoa.



Kuva 6: ZigBee-protokollakerroksen rakenne

#### 4.1.2 Kerrosten palveluntarjontamekanismi

Kerrokset tarjoavat toisille kerroksille erilaisia palveluita, kuten datakehysten siirtämisen seuraavalle kerrokselle. Kaikki kerrosten välinen viestintä tapahtuu primitiivejä käyttämällä, jotka ovat yksinkertaisia kerrosten välisiä viestejä. Primitiivejä on olemassa neljää eri tyyppiä: pyyntö, vahvistus, viittaus, vastaus. Palveluntarjontamekanismin graafinen esitys on annettu kuvassa 7. [9]



Kuva 7: Kuvassa esitetään eri palveluntarjontaprimitiivejä

Yleensä kerroshierarkiassa yläpuolella oleva kerros lähettää palvelua tarjoavalle kerrokselle pyynnön. Tähän palveluntarjoaja antaa pyydetyn tehtävän toteutuksen jälkeen vahvistuksen pyynnön antajalle. Vahvistus kertoo pyydetyn toiminnon onnistumisesta. Jos pyyntöä ei voitu toteuttaa, ilmoittaa palveluntarjoaja virheestä ja sen aiheuttaneesta syystä.[9]

Viittaus on primitiivi, joka lähetetään jostain palveluntarjoajan tekemästä toiminnosta. Sen voi aiheuttaa pyydetty toiminto tai jokin palveluntarjoajan itse suorittama prosessi. Viittaus voi toimia myös palvelun pyyntönä kerrokselle. Vastaus on taas palaute kerrokselta, jolle viittaus on lähetetty. Viittaukseen liittyvä tieto kerrotaan vastauksessa, mikä voi olla saadun tiedon toistaminen tai ilmoitus viittaukseen liittyvän toiminnon onnistumisesta.[9]

Yhtenä esimerkkinä toimii datansiirtopyynnön lähettäminen verkkokerrokselta siirtokerrokselle. Pyyntö koskee siirtokerrokselle annettavan datan siirtämistä fyysiselle kerrokselle lähettämistä varten. Pynnön vastaanottamisen jälkeen käy siirtokerros primitiivin parametrin läpi, ja luo fyysiselle kerrokselle lähetettävän datakehysten. Siirtokerros lähettää fyysiselle kerrokselle viitteen datakehysten lähettämisestä, johon fyysinen kerros antaa vastauksen lähetyksen onnistumisesta. Jos lähetys onnistuu, lähettää siirtokerros onnistumisesta kertovan vahvistuksen verkkokerrokselle. Muutoin vahvistuksessa kerrotaan lähetyksen epäonnistuminen ja sen syy.[9]

### 4.1.3 Fyysinen kerros

Fyysinen kerros on protokollapinon alin kerros, joka toimii rajapintana siirtokerroksen ja fyysisen radiokanavan välillä. PHY-kerroksen tehtäviin kuuluu lähetinvastaanottimen tilan ohjaaminen, vastaanotettujen pakettien yhteyden laadun ilmaisu ja CSMA-CA -mekanismille tehtävä vapaan kanavan arviointi (CCA). Uuden verkon muodostamisen yhteydessä PHY-kerros vastaa myös valitun kanavan energian havaitseminen. Lisäksi fyysisen kerroksen tehtäviin kuuluu kanavataajuuden valinta, ja tiedon lähetys ja vastaanotto. [8]

802.15.4 standardin mukaisesti käytössä on kaksi lisensoimatonta ISM-taajuusalueita: maailmanlaajuinen 2450 Mhz ja alueelliset 868/915 Mhz. 915 Mhz on käytössä lähinnä Yhdysvalloissa ja Australiassa. 868 MHz:ä käytetään Euroopan alueella. Taulukossa 1 on esitetty joitakin taajuusalueiden tietoja. [8]

Taulukko 1: ZigBee:n käyttämät taajuusalueet

PHY (MHz)	Taajuuskaista (MHz)	Modulaatio	Bittinopeus (kb/s)	käytetyt kanavat
868/915	868-868.6	BPSK	20	0
	902-928	BPSK	40	1-10
2450	2400-2483.5	O-QPSK	250	11-26

### 4.1.4 Siirtokerros

Siirtokerros on vastuussa yhteydestä käytettävään fyysiseen radiokanavaan. Siirtokerros toimii verkkokerroksen ja fyysisen kerroksen välisenä rajapintana. Sen lisäksi siirtokerros vastaa seuraavista tehtävistä.[8]

Laitteen ollessa koordinaattori vastaa siirtokerros merkkisignaalin generoimisesta. Muussa tapauksessa siirtokerroksen tehtävänä on merkkisignaaliin synkronoituminen, likiverkkoon liittymisen ja verkosta irtaantumisen tukeminen. Siirtokerroksen tehtävänä on myös CSMA-CA -mekanismin käyttäminen lähetettäessä datapaketteja käytettävän kanavan välityksellä. [8]

### 4.1.5 Verkkokerros

Verkkokerros on vastuussa verkon rakenteen hallitsemisesta ja jäsenten verkkoon liittämisestä ja verkosta poistamisesta. Verkkokerroksen tehtäviin kuuluu siirtokerroksen oikean toiminnan varmistaminen ja tarvittavien palveluiden tarjoaminen soveluskerrokselle. Verkkokerroksen datakokonaisuuden tehtäviin kuuluu verkkokerrok-

sen protokolladatayksikön luominen ja topologiakohtainen reititys kohdelaitteelle tai paketin reititys seuraavalle laitteelle. [10]

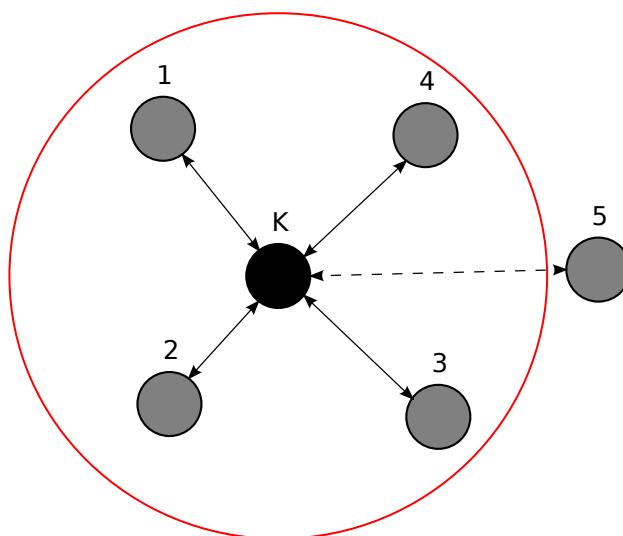
Verkkokerroksen hallintakokonaisuuden (NLME) tehtäviin kuuluu muun muassa uuden verkon aloittaminen, reittien löytäminen ja reitittäminen. Lisäksi, tehtäviin kuuluu verkon uusien jäsenten konfiguroiminen ja verkko-osoitteiden antaminen.[10]

#### 4.1.6 Sovelluskerros

Sovelluskerros koostuu sovellusapukerroksesta, ZigBee laiteobjektista ja sovelluskehystä, joka sisältää laitevalmistajan määrittämiä sovellusobjekteja.[10]

Sovellusapukerros toimii rajapintana verkkokerroksen ja sovelluskerroksen välillä tarjoten palveluita ZigBee laiteobjektille ja sovelluskehykselle. Sovellusapukerroksen tehtäviin kuuluu verkkokerrokselle lähetettävän datakehyn luominen, liikenteen luotettavuuden ylläpitäminen, kopion hylkääminen ja datapaketin paloittelu.[10]

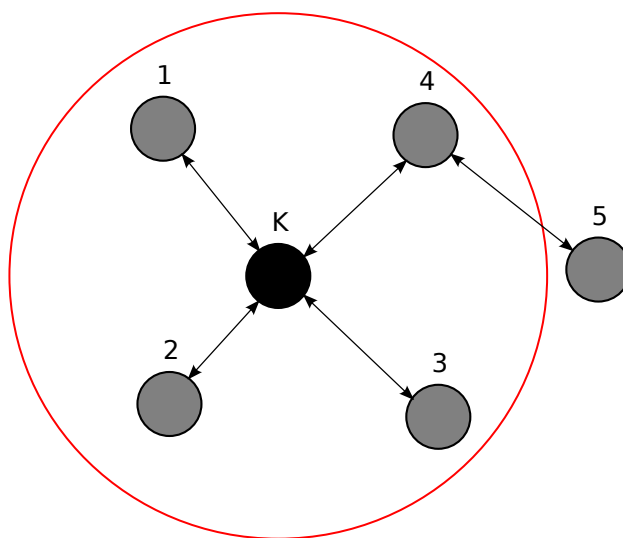
Tilanteessa, jolloin sama datapaketti lähetetään kahdesti hylkää sovellusapukerros toisena tulleen paketin tunnistessaan sen ensimmäisen kopioksi. Datapaketin paloittelemisella mahdollistetaan ylipitkien pakettien lähettäminen, jolloin sovellusapukerros paloittaa ne verkkokerroksen kehyksiin mahtuviksi paloiksi. Muiden sovelluskerroksen osien toimintaa ei tarkastella, koska ne jäävät tämän diplomityön aiheen ulkopuolelle.[10]



Kuva 8: Point-to-multipoint -verkko

## 4.2 Langaton mesh-verkko

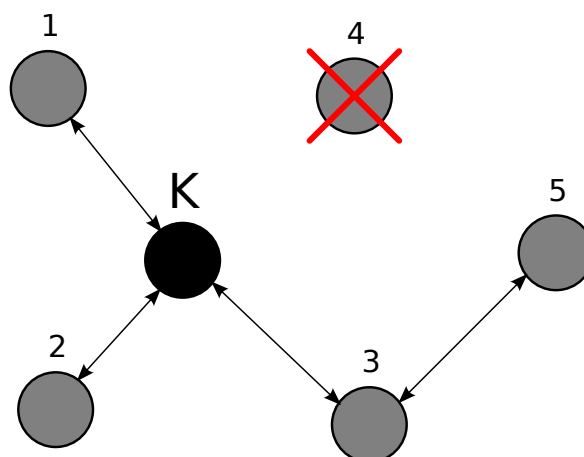
Zigbee käyttää toiminnassaan langattoman mesh-verkon ominaisuuksia, jotka lisäävät verkon toimintaan joustavuutta. Mesh-verkko ei ole riippuvainen verkon koordinaattorista, kuten perinteiset point-to-multipoint -verkot, vaan on kykenevä mukautumaan tilanteiden mukaan. Point-to-multipoint -verkossa laitteiden on oltava riittävän lähellä koordinaattoria. Kuvassa 8 on esitetty point-to-multipoint -verkko tilanteessa, jossa yksi laite on verkon koordinaattorin kantaman ulkopuolella. [11] [12]



Kuva 9: Mesh-pohjainen verkko

Mesh-pohjaisella järjestelmällä tämäntyyppinen tilanne ei ole ongelma, koska se mahdollistaa suoran yhteyden luomisen kaikkien verkon solmujen kesken. Kuvassa 9 on esitetty sama tilanne mesh-pohjaisella verkolla toteutettuna. Kuten kuvasta voidaan havaita, laitteen liittyminen on mahdollista myös muista solmupisteistä. Tällöin koordinaattorin kantama ei rajoita verkon kokoa. Tämäntyyppisen verkon suurimpana etuna on, että verkkoa voidaan laajentaa koordinaattorin kantaman ulkopuolelle. [11] [12]

Verkon laajenemiskyvyn lisäksi mesh-verkko osaa korjata itsensä vikatilanteen sattuessa. Jos jokin verkon solmuista poistuu verkosta, reititetään siihen yhteydessä olleet laitteet uudelleen, sen ollessa mahdollista. Kuvassa 10 on esitetty tilanne, jossa solmu 4 on poissa käytöstä, ja solmun 5 yhteys on reititetty uudelleen. Näiden ominaisuuksien johdosta mesh-verkko sietää hyvin häiriötä. [11] [12]



Kuva 10: Mesh-verkko vikatilanteen sattuessa

## 4.3 ZigBee-verkko

### 4.3.1 Laitetyypit ja hierarkia

ZigBee-verkossa toimivat laitteet voidaan jakaa kahteen eri laityyppiin: täyden toiminnan laitteet (FFD) ja supistetun toiminnan laitteet (RFD). FFD-laitteet voivat toimia kaikkina verkon jäseninä (koordinaattori, reititin ja loppulaite) ja voivat keskustella kaikkien kantomatkan päässä olevien laitteiden kanssa. RFD-laitteet ovat kevyempiä käyttää ja mahdollistavat pidemmän käyttöiän patterikäyttöisille laitteille. RFD-laitteet voivat toimia vain loppulaitteina ja keskustella ainoastaan FFD-laitteiden kanssa. [8]

ZigBee-verkon toiminta perustuu 3-portaiseen laitehierarkiaan. Korkeimpana hierarkiassa on koordinaattori, joka perustaa verkon ja vastaa sen ylläpitämisestä. Koordinaattorin alapuolella on reititin, joka nimensä mukaisesti osallistuu lähetettävien datapakettien reitittämiseen. Se voi toimia koordinaattorin tavoin vanhempana loppulaitteille. Koordinaattori ja reititin voivat kommunikoida kaikkien kantomatkan sisällä olevien laitteiden kanssa. Loppulaite on hierarkiassa alimpana ja vastaa yleensä sensoritietojen lähettämisestä. Seuraavassa on listattu jokaisen laityypin ominaisuudet [13]

## Koordinaattori

- Valitsee käytettävän kanavan ja PAN ID:n verkon aloittamisen yhteydessä
- Voi liittää reitittimiä ja loppulaitteita verkkoon
- Voi avustaa datan reitittämisessä
- Ei voi nukkua – tulee olla verkkovirralla toimiva
- Täyden toiminnan laite
- Voi puskuroida RF-datapaketteja lapsina oleville loppulaitteille

## Reititin

- Täytyy liittyä PAN-verkkoon ennen kykyä lähettää, vastaanottaa tai reitittää dataa
- Verkkoon liittymisen jälkeen voi sallia reitittimien ja loppulaitteiden liittyä verkkoon
- Liittymisen jälkeen voi avustaa datan reitittämisessä
- Ei voi nukkua – tulee olla verkkovirralla toimiva
- Täyden toiminnan laite
- Voi puskuroida RF-datapaketteja lapsina oleville loppulaitteille

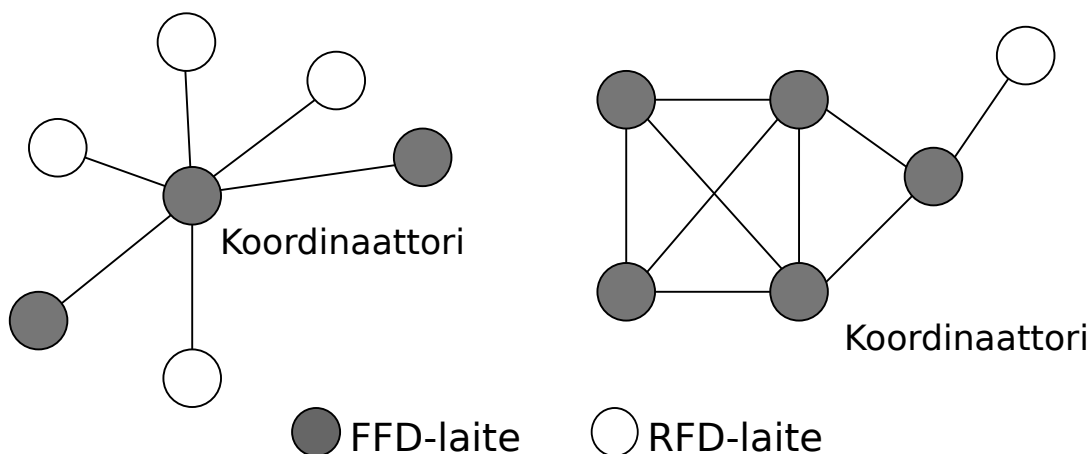
## Loppulaite

- Täytyy liittyä PAN-verkkoon ennen kykyä lähettää tai vastaanottaa
- Ei voi antaa laitteiden liittyä verkkoon
- Joutuu lähettämään ja vastaanottamaan RF-dataa vanhemman kautta. Ei voi reitittää dataa.
- Voi siirtyä lepotilaan enegrian säästämiseksi ja voi olla paristokäyttöinen
- Rajoitetun toiminnan laite

Kaikilla laitteilla on laitekohtainen 64-bittinen osoite, joka asetetaan moduulin valmistuksen yhteydessä. Verkkoon liittyessä jokaiselle laitteelle annetaan oma 16-bittinen verkko-osoite. Koordinaattorin verkko-osoite on aina 0.[8]

### 4.3.2 Verkkotopologiat

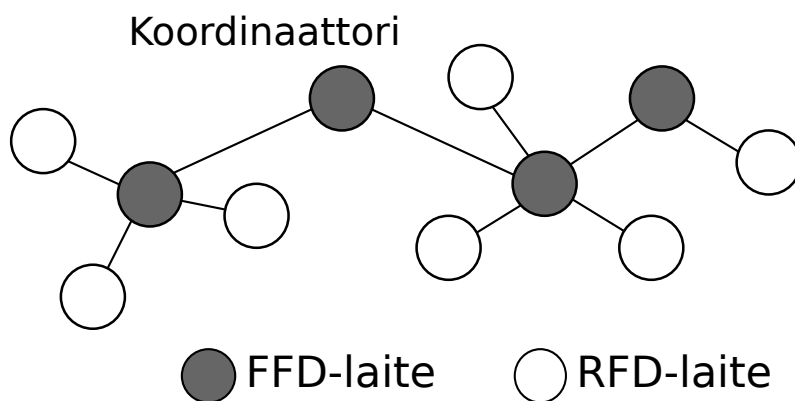
IEEE 802.15.4 standardi määrittelee kaksi perustopologiaa: tähtiverkko ja peer-to-peer-verkko, jotka on esitetty kuvassa 11. Tähtitopologiassa on vain kahden tyyppisiä laitteita: loppulaite ja koordinaattori. Kaikki yhteydet on muodostettu koordinaattorin ja jonkin loppulaitteen välillä, jolloin kaikki data kulkee aina koordinaattorin kautta.[8]



Kuva 11: Tähtiverkko ja peer-to-peer-verkko

Toinen standardin määrittämä verkkotopologia on peer-to-peer -verkko, joka muodostuu reitittimistä. Verkossa ei ole varsinaista koordinaattoria ja kaikki laitteet ovat samanvertaisia. Laitteet voivat kommunikoida kaikkien kantomatkan sisällä olevien laitteiden kanssa. Verkon koordinaattorin tehtävänä on vain verkon luominen, jonka jälkeen se toimii kuten muutkin laitteet.[8]

Yksi yleinen verkkotopologia on klusteriverkko, joka muodostuu monista rinnakkain toimivista tähtiverkoista. Kuvassa 12 on esimerkki klusteriverkosta. [8]



Kuva 12: Klusteriverkko

### 4.3.3 Verkon muodostaminen

Koordinaattorin tehtävänä on valita muodostettavalle verkolle parhaiten soveltuva kanava ja vapaana oleva 16-bittinen PAN ID. Kanavan ja PAN ID:n löytämisen jälkeen koordinaattori käy kanavat läpi ja lähettää liittymiskutsun. Tämän jälkeen koordinaattori hyväksyy laitteita verkkoon määritetyn ajan. [8]

Reitittimen täytyy ensin löytää voimassa oleva verkko ja liittyä siihen, jonka jälkeen se voi osallistua verkon toimintaan ja hyväksyä uusia laitteita mukaan verkkoon. Reititin liittyy valitulla PAN ID:llä varustettuun verkkoon, jos sellainen on olemassa. Jos reitittimelle ei ole määritelty tiettyä PAN ID:tä ja se on 0, niin se liittyy ensimmäiseen vapaana olevaan verkkoon. [8]

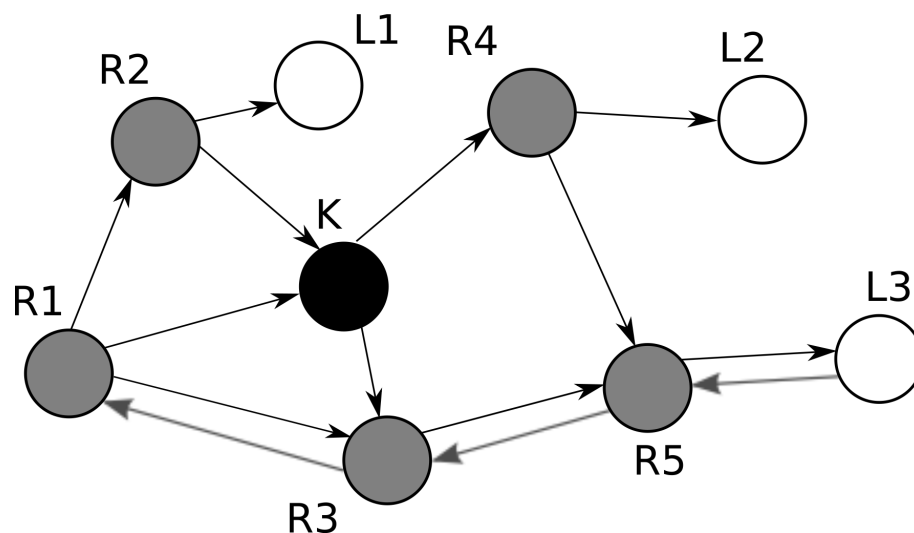
Loppulaitteet pyrkivät liittymään verkkoon reitittimen tapaan löytämällä joko koordinaattorin tai reitittimen, jolla on vapaita lapsipaikkoja jäljellä. Loppulaite ei pysty liittymään verkon täysiveriseksi jäseneksi, vaan tarvitsee aina vanhemman, jonka kautta se kommunikoi muiden laitteiden kanssa.

#### 4.4 Verkon tiedonsiirto

ZigBee-verkossa on kaksi erityyppistä tiedonsiirtomuotoa: broadcast ja unicast. Broadcast lähettää datan kaikille verkossa oleville laitteille ja unicast lähettää datan yhdelle solmulle määrättyä reittiä käyttäen. [13]

ZigBee käyttää mesh-reititystä vastaanottajan ja lähettäjän välisen reitin aikaan saamiseksi. Mesh-reititys mahdollistaa datapakettien siirtämisen useiden solmuvälien päähän. Koordinaattori ja reitittimet voivat osallistua reitin luomiseen lähettäjän ja vastaanottajan välille käyttäen reitinetsintää. [13]

Reitinetsintä suoritetaan, jos reitti vastaanottajalle on lähettäjälle tuntematon. Sen avulla on mahdollista löytää lyhin mahdollinen reitti lähettäjän ja vastaanottajan välille. Kuvassa 13 on esitetty, kuinka reitin etsintä tapahtuu. [13]



Kuva 13: Reititin etsintä ZigBee-verkossa

Solmun R1 halutessa lähettää dataa solmulle L3, lähettää se broadcastina pyynn-

nön solmujen välisen reitin selvittämiseksi. Kaikki broadcastin vastaanottaneet solmut lähettävät sen eteenpäin, kunnes se on lähetetty kaikille verkossa oleville solmuille. Kohdesolmun vastaanottaessa pyyntö, lähettää se kuittauksen unicastina pyynnön lähettäjälle lyhintä mahdollista reittiä. Lyhin reitti pystytään määrittämään vastaanotetun broadcastin perusteella, johon sisältyy sen kulkema reitti. Kuvassa 13 mustat nuolet osoittavat broadcast -lähetyksiä ja harmaat nuolet kuittauksena lähetettävää unicastia. Reitin löytymisen jälkeen se tallennetaan ja käytetään oletuksena, kunnes reitti ei ole enää käytettävissä. [13]

## 5 ZigBee -moduulin toiminta

Käytettävän verkkotopologian valinnan jälkeen tehtävänä on valita työssä käytettävä ZigBee-moduuli. Seuraavassa kerrotaan ZigBee-moduulin valinnasta ja perehdytään valitun moduulin toimintaperiaatteisiin.

### 5.1 Tarjolla olevia ZigBee-moduuleita

Työn etenemiselle annetut aikarajat olivat sen verran tiukat, että käytettävän moduulin valinnassa panostettiin laitteen helppokäyttöisyyteen ja hyvään saatavuuteen. Tämän työn kannalta parhaalla mahdollisella suorituskyvyllä ei ollut suurta merkitystä, koska laitteisto oli tarkoitettu kokeelliseen käyttöön ja käyttösäde jäi muutamiin metreihin. Suuremmassa roolissa oli virrankulutus, joka on paristokäyttöisillä laitteilla aina kriittinen tekijä. Lisäksi kehitysvaiheessa oli suotavaa, että ZigBee-moduulin uudelleenohjelmointi onnistuisi mahdollisimman helposti.

Nykyään valmiita ZigBee-moduuleita on tarjolla laaja valikoima. Valmistajia on markkinoilla noin kymmenen kappaletta. Valmistajien ilmoittamat kantoalueet olivat normaaleilla mikrosiruantenneilla varustetuilla moduuleilla sisätiloissa noin 40 m ja ulkona näkyvällä yhteydellä 400 m. Suuritehoisilla moduuleilla kantomatkan ilmoitettiin olevan 1000 - 4000 m moduulista riippuen. Monella valmistajalla on tarjolla myös USB:tä tai RS-232:sta käyttäviä kehityspaketteja, joiden avulla on helppo tutkia moduulien toimintaa erilaisilla asetuksilla. Seuraavaksi taulukossa 2 on esitetty viiden valmistajan moduulien tietoja antamaan suuntaa normaaleista arvoista.

Taulukko 2: ZigBee-moduulien teknisiä tietoja [14] [15] [16] [17] [18]

Moduuli	jännite (V)	linkki budjetti (dBm)	TX-virta (mA)	RX-virta (mA)	lepovirta ( $\mu$ A)
Telesis ETRX3	2,1-3,6	102	31	25	0,8
Jennic JNE5139	2,2-3,6	100	34	34	1,3
MeshNetics ZigBit	1,8-3,6	104	18	19	6
Digi international XBee	2,1-3,6	97	35	38	< 1
Amber wireless	2-3,6	101	-	-	-

Taulukko antaa hieman kuvaa siitä millaisilla tehoilla moduulit toimivat ja kuinka paljon virtaa käytetään. Taulukon arvojen mukaan Meshnetics:n ZigBit-moduuli on lähetystilanteessa muita moduuleita parempi ja vähemmän virtaa vievä. On kui-

tenkin tärkeää muistaa, että jos laitteiden välillä on vähän datansiirtoa, niin suurin osa virran kulutuksesta saattaa muodostua kulutetusta lepovirrasta.

Jos esimerkiksi arvioidaan yhden datapaketin lähettämiseen kuluvaan 100ms, on tällöin lähetyksen energian kulutus ZigBitillä  $18mA \times 100ms = 1,8mAs$ . Lähetettäessä datapaketteja 10 minuutin välein kuluttaa ZigBit-moduuli levossa energiaa  $6\mu A \times 10 \times 60s = 3,6mAs$ . Kyseisessä tilanteessa moduuli kuluttaa levossa kaksinkertaisen määrän energiaa lähetykseen verrattuna.

Lasketaan vastaavat arvot lähetyksen suhteen taulukon 2 heikoimmalle moduulille. XBee-moduulille saadaan lähetyksen energiankulutukseksi  $3,5mAs$  ja 10 minuutin pituiselle levolle käyttäen lepovirralla arvoa  $1\mu A$  saadaan  $0,6mAs$ .

Jos nyt yhdistetään lähetyksessä ja levossa kulutettu energia, saadaan ZigBit:lle arvoksi  $5,4mAs$  ja vastaavasti XBee:lle  $4,1mAs$ . Nämä yksinkertaiset laskut paljastavat, että moduulien käyttämä lepovirta on merkittävä.

Pelkästään edelläolevien laskelmien perusteella ei vielä pystytä valitsemaan parasta mahdollista moduulia. Jos otetaan moduulien linkkibudjetit huomioon nähdään, että ZigBit omaa huomattavasti paremman linkkibudjetin. Kuitenkin ajateltaessa virrankulutusta on mahdollista käyttää useampia XBee-moduuleita ja päästä pienempään kokonaisvirran kulutukseen, kuin ZigBit:llä toteutetulla järjestelmällä.

Lähes kaikki tarjolla olleet moduulit on koteloitu PCB-koteloon, joka on tarkoitettu tulostetulle piirilevyille. Tämä tyyppiset komponentit vaativat juottamista piirilevyyn. Muista moduuleista poiketen oli Digi Internationalin XBee-moduuli saatavilla läpivientipinneillä varustettuna mallina. Tällöin moduulin kiinnittäminen ja irrottaminen laitteesta onnistuu helposti, mikä helpottaa uudelleenohjelmointia ja vioittuneen moduulin vaihtamista.

XBee:llä oli tarjolla kaksi eri toimintamallia: läpimenevä ja ohjelmointirajapintaa (API) käyttävä. Läpimenevässä tilassa viestit kulkevat moduulin läpi muuttumattomina etukäteen määriteltyjen asetusten mukaisesti. Tämä tila antaa helpon tavan tutustua moduulin ja verkon toimintaa. API:a käytettäessä viestit lähetetään kehyksinä, joihin sisältyy viestin lisäksi lähetystä koskevia tietoja. API vaatii käyttäjältä jonkinlaista järjestelmän hallintaa, mutta on dynaamisissa sovelluksissa käyttökelpoinen. Näistä kerrotaan lisää myöhemmin.

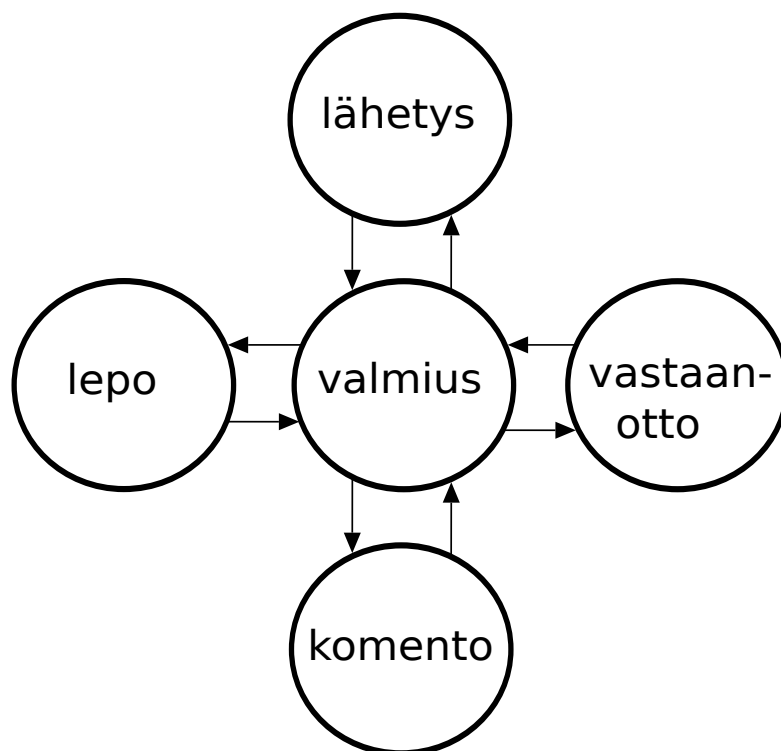
Edellä mainittujen syiden perusteella työssä käytettäväksi moduuliksi valittiin Digi internationalin XBee. Muina hyvinä puolina oli laitteen helppo saatavuus Farnell:n kautta ja tarjolla oleva kehityspaketti.

## 5.2 Käytetyn XBee-moduulin perusteita

Työssä käytetty Digi Internationalin XBee-moduuli koostuu Freescalen M908GT60 mikro-ohjaimesta ja Freescalen MC13193 lähetin-vastaanottimesta. XBee-moduulin signaalibudjetti on suurimmillaan 99 dBm, ja valmistajan antama kantomatka sisätiloissa on 30 metriä. XBee-moduuli käyttää muun laitteiston kanssa kommunikointiin UART-sarjaporttia. UART-väylää käyttämällä laitteiden välinen tiedonsiirto on helppo toteuttaa ohjelmallisesti, ja datan moduulille lähettämiseen riittää mikrokontrollerilta sarjaportille suunnattu tulostuskomento.

### 5.2.1 XBee-moduulin toimitilat

XBee-moduulilla on viisi eri toimintatilaa: valmius-, lähetys-, vastaanotto-, komento- ja lepotila. Toimitilojen välillä liikkuminen on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14: XBee-moduulin toimitilat ja liikkuminen tilojen välillä

Moduuli on oletusarvoisesti aina valmiustilassa ellei sitä ole ohjattu johonkin toiseen tilaan. Jos lepotilaa ei ole käytössä on moduuli valmiustilassa muita käskyjä odottaessa. Moduulin siirtyessä tilasta toiseen on tilanmuutos tehtävä valmiustilan kautta, kuten kuvasta 14 voidaan havaita.

Lähetettäessä dataa sarjaportin kautta siirtyy moduuli lähetystilaan ja pyrkii

lähettämään sarjaportin välityksellä annetun datan. Ennen lähetystä selvitetään vastaanottajan osoitteen olemassaolo ja reitti vastaanottajalle, jonka jälkeen data lähetetään. Lähetysten jälkeen jää moduuli odottamaan lähetysten onnistumisesta kertovaa kuittausta datan vastaanottajalta. Jos kuittausta kuitenkaan ei saada lähetetään data uudestaan. Tilanne, jossa osoitetta tai reittiä ei pystytä selvittämään, johtaa datan hylkäämiseen ja lähetysten keskeytykseen. Lähettämisen tai hylkäämisen jälkeen palaa moduuli takaisin valmiustilaan. [13]

Moduuli siirtyy vastaanottotilaan vastaanottaessaan RF-paketin. Tämän jälkeen moduuli lähettää datan sarjaporttia pitkin ja palaa valmiustilaan. Komentotilaa käytetään XBee-moduulin parametrien arvojen muokkaamiseen ja lukemiseen. Tällaisia parametreja ovat muun muassa datapakettien vastaanottajan osoite tai käytettävän lepotilan tyyppi. Käytettäessä komentotilaa moduulin kanssa kommunikoidaan AT-komentoja käyttämällä. Moduuli kuittaa kaikki onnistuneesti vastaanotetut AT-komennot. RF-moduulin ollessa komentotilassa se ei ole kykenevä vastaanottamaan tai lähettämään dataa.[13]

Seuraavaksi käsitellään XBee-moduulin lepotilaa, ja lepotilan vaihtoehtoisia toimintamalleja.

### 5.2.2 XBee-moduulin nukkuminen

Käytettävä XBee-moduuli voi olla jatkuvasti aktiivisena, tai kuten yleensä loppulaitteessa, olla suurimman osan ajasta levossa. Nukkuvalla laitteella on olemassa kolme erilaista lepovaihtoehtoa: pinniohjattu lepo, jaksollinen lepo ja näiden yhdistelmä.[13]

Molemmat toimintamallit on tarkoitettu yhdensuuntaiseen tiedonkulkuun. Pinnillä ohjatussa levossa tietoa kuljetetaan ensisijaisesti laitteelta pois päin, ja moduulin tilaa ohjataan *SLEEP\_REQUEST*-pinnin avulla, jolloin laite herätetään asettamalla pinnin tila loogiseksi nollaksi. Kun pinnin tila asetetaan loogiseksi ykköseksi, siirtyy moduuli lepotilaan, ja jos lähetys on kesken niin lähetysten loputtua. Pinniohjatulla moduulilla täytyy huolehtia riittävän tiuhasta lähettamisestä, jos laite halutaan säilyttää verkossa.[13]

Jaksollinen lepo on taas ensisijaisesti tiedon vastaanottamista varten. Siinä laite herää määräjoin ja kyselee vanhemmalta tulossa olevista viesteistä. Jos viestejä ei ole tulossa, palaa moduuli välittömästi takaisin lepotilaan. Jos taas moduulille on tulossa RF-paketteja, vastaanottaa se paketin, asettaa *ON/SLEEP*-pinnin ylätilaan ja jää halutuksi aikaa odottamaan mahdollisesti tulevia viestejä. Tällöin se kyselee määrätyn väliajoin tulevista paketeista. Tämä prosessi toistuu, kunnes aika

umpeutuu ja laite palaa takaisin lepotilaan.[13]

Kolmannessa toimintamallissa yhdistyy kaksi ensimmäistä mallia, ja mahdollistaa tiedonkulun molempiin suuntiin. Tässä moodissa moduuli toimii samaan tapaan kuin syklisessä levossa, mutta moduuli voidaan herättää myös ulkoisesti muuttamalla *SLEEP\_REQUEST*-pinnan tila loogiseksi nollassa.[13]

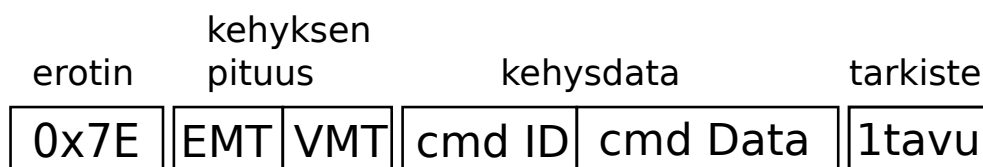
Kaikki loppulaitteet vaativat vanhemman, joko reitittimen tai koordinaattorin. Vanhemmalla on lapsi-taulukko, mihin kaikkien lasten osoitteet on tallennettu. Osoitelistan koko vaihtelee laitteen tyylistä riippuen. Reitittimellä voi olla 12 lasta ja koordinaattorilla 10 lasta. Koska loppulaitteet ovat suuren osan ajasta unessa, puskuroivat vanhemmat lapsillensa tulevia viestejä. Vanhempi säilyttää viestejä siihen asti kunnes lapsi kysyy tulossa olevasta viestistä tai kunnes puskurointiaika loppuu. Puskurointiajan pituus voidaan määrittää välillä 384 ms - 30 s.[13]

### 5.2.3 XBee-moduulin toimintamoodit

XBee-moduulilla on kaksi mahdollista toimintamoodia: läpäisevä toiminta ja ohjelmointirajapintaa (API) käyttävä moodi. Nimensä mukaisesti läpäisevää toimintaa käyttävä moduuli lähettää kaiken sille annetun datan suoraan vastaanottajalle. Datanlähetysvaiheessa ei viestiä koskevia asetuksia pystytä enää muuttamaan, vaan kaikki lähetystä koskevat asetukset on määritettävä ennen viestin lähettämistä. Asetuksien muuttaminen tapahtuu AT-komennoilla AT-komentotilaa käyttäen.

Läpäisevä toimintamoodi soveltuu parhaiten yksinkertaisille terminaaliksiöille, joilla on olemassa jokin vakiona pysyvä kohde. Tällöin moduulia käyttävältä laitteelta ei vaadita muuta kuin halutun datan tulostaminen ZigBee-moduulille. Monimutkaisemmissa sovelluksissa läpäisevä moodi tulee epäkäytännölliseksi, koska vastaanottajan osoitteen muuttaminen tehdään AT-komentotilassa. Tuona aikana moduuli ei vastaanota sille suunnattuja datapaketteja.

API on toimintamooeista monimutkaisempi ja soveltuu paremmin dynaamisten kohteiden käyttöön, jossa vastaanottajan osoitteet muuttuvat usein.



Kuva 15: API-kehyksen rakenne [13]

Kuvassa 15 on esitetty API-kehyksen perusrakenne, jota käytetään kaikkien API:a käyttävien datapaketien rakentamisessa. Kehys jakautuu neljään osaan: ero-

tin, kehyksen pituus, kehysdata ja tarkiste. Erotin aloittaa API-kehyksen, ja sen tehtävänä on kertoa XBee-moduulille alkavasta API-kehuksesta.

Erottimen jälkeen tulee kehysdatan pituuden kertova osa, sen pituus on 2-3 tavua. Pituus kertoo käytettyjen tavujen lukumäärän ja esitetään eniten merkitsevä tavu (EMT) ensimmäisenä.

Kehysdata sisältää kaikki lähetettävää dataa koskevat tiedot. Kehystyyppin tunniste (cmd ID) kertoo lähetettävän kehyksen tyypistä, ja samalla määrittää loppukehyksen rakenteen. XBee-moduulilla on olemassa noin 20 eri kehystä. Kehyksen sisältö (cmd Data) tulee heti tunnisteen perään. Siinä ilmoitetaan kaikki kehykselle kuuluvat tiedot. Esimerkiksi normaalin lähetyksen datakehykseen kuuluu vastaanottajan osoite, lähetettävä etäisyys solmuina, kuittaustyyppi ja lähetettävä data.

Viimeisenä osana tulee tarkiste, jolla varmistetaan lähetettävän viestin oikeellisuus. Tarkiste on yhden tavun kokoinen ja se lasketaan kehysdatan jokaisen merkin arvon summana. Tarkisteen avulla voidaan varmistua siitä, että XBee-moduulin vastaanottama API-kehys on pätevä. Moduuli hylkää annetun API-kehyksen jos tarkiste on väärä.

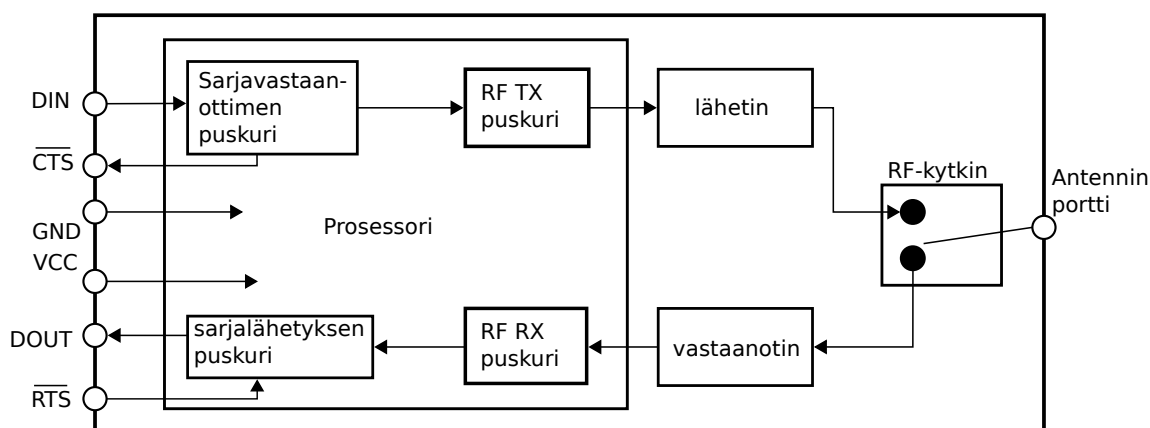
Tässä työssä on käytetty molempia toimintamodeja. Terminaalilaitteet on varustettu läpäisevää toimintamoodia käyttävillä XBee-moduuleilla. Terminaalien luonteen takia ne kommunikoivat aina saman moduulin kanssa, jolloin moduulin parametreja ei tarvitse koskaan muuttaa. Keräysyksikkö taas joutuu kommunikoimaan kaikkien verkossa olevien laitteiden kanssa, jolloin API:n käyttäminen on välttämätöntä.

### 5.3 XBee-moduulin toiminta

Työssä käytetty XBee-moduuli tarjoaa helpon tavan käyttää ZigBee:tä.

Moduulia ei tarvitse missään vaiheessa konfiguroida ohjelmatasolla vaan laite on käyttövalmis tehtaalta tullessaan. XBee-moduuli käyttää lähettämiseen ja vastaanottamiseen sarjaväylää, ja käyttöjännitettä (2,1 ... 3,6 V). Moduulissa täytyy olla kytkettynä vähintään DIN- (data-in), DOUT- (data-out) ja käyttöjännite. Lisätoiminnallisuuden aikaansaamiseksi on hyödyllistä kytkeä myös muita pinnejä, kuten  $ON/\overline{SLEEP}$ - ja  $SLEEP\_REQUEST$ -pinnit.

Kuvassa 16 on yksinkertainen lohkokaavio, josta ilmenevät lähettämiseen ja vastaanottamiseen käytettävät lohkot. DIN-pinni on tarkoitettu moduuliin sisääntulevalle datalle, ja DOUT-pinni on tarkoitettu vastaavasti ulostulevalle datalle. GND- ja VCC-pinni ovat maalle ja käyttöjännitteelle.  $\overline{CTS}$ -pinnillä ohjataan moduuliin DIN-pinniä pitkin lähetettävää datavirtaa ja  $\overline{RTS}$ -pinnillä ohjataan moduulista



Kuva 16: XBee:n sisäinen datalohkokaavio

DOUT-pinniä pitkin lähetettävää datavirtaa. [13]

$DIN$ -pinnin kautta XBee-moduuliin tuleva data kulkee sarjaväylän vastaanottopuskurin kautta, jonne se tallennetaan, kunnes data voidaan prosessoida. Käytettäessä sarjaväylällä suurta siirtonopeutta ja suuria lähetettäviä paketteja on tarpeellista käyttää  $\overline{CTS}$ -pinniä moduuliin tulevan datavirran ohjaamiseksi. Kun vastaanottopuskurissa on enää 17 tavua tilaa, ilmoittaa moduuli datan lähettäjälle puskurin täyttymisestä muuttamalla  $\overline{CTS}$ -pinnin tilan loogiseksi ykköseksi. Tällöin datavirta keskeytyy, kunnes vastaanottopuskurissa on tilaa 34 tavua. Tällöin  $\overline{CTS}$ -pinni palautetaan loogiseksi nollaksi.

Sarjaväylän lähetyspuskuri puskuroi sarjaväylään lähetettäviä RF-datapaketteja.  $\overline{CTS}$ -pinnillä ohjataan puskurista  $DOUT$ -pinniin lähetettävää datavirtaa.  $\overline{CTS}$ -pinnin ollessa ylhäällä ei puskuri lähetä sarjaväylään mitään, ja  $\overline{CTS}$ -pinnin ollessa alhaalla lähettää puskuri normaalisti. Tilanteessa jolloin sarjaväylän lähetyspuskuri ei pysty puskuroimaan koko RF-pakettia, hylätään kyseinen paketti. Tällainen tilanne voi sattua, jos RF-nopeus on suurempi kuin sarjaväylän tai  $\overline{CTS}$ -pinniä pidetään liikaa ylhäällä, jolloin sarjaväylään lähettäminen estetään.

## 6 Järjestelmän kehitys ja toiminta

Työssä kehitetyllä järjestelmällä pystytään keräämään terminaalin käyttäjän antama 5-portainen palaute suoraan haluttuun tiedostoon palvelimella. Tämän jälkeen pystytään tarkastelemaan kaikkia järjestelmässä olevia terminaaleja ja niiden kautta saatua palautetta. Tulokset on luettavissa ainakin Microsoft Office:n ja OpenOffice:n taulukko-ohjelmilla. Tämän ansiosta tulosten tarkastelu ja analysointi kuvajien avulla on vaivatonta.

Järjestelmässä käytettävään laitteistoon kuuluu terminaalilaitteet, keräysyksikkö ja tietokone, johon kerättävät tiedot tallennetaan. Terminaalit toimivat järjestelmän ja loppukäyttäjien välisenä rajapintana. Keräyslaitteen tehtävänä on ohjata ZigBee-verkon toimintaa ja toimia tietokoneen ja ZigBee-verkon välisenä rajapintana. Tietokoneen tehtävänä on pyörittää sovelluksille tarkoitettuja ohjelmia ja tallentaa terminaaleilta tulevia tietoja.

Langattoman järjestelmän suunnittelu aloitettiin sopivan ZigBee moduulin etsimisellä. Vaikka aikaisempaakin tutkimusta ZigBee:n parissa oli tehty, ei käytettyihin moduuleihin kuitenkaan oltu tyytyväisiä. Käytettäväksi moduuliksi valikoitui Digi Internationalin Xbee-moduuli. Valintaan vaikutti saatu kuva laitteen helppokäyttöisyydestä ja laitteen hyvä saatavuus. Xbee-moduuli käyttää kommunikointiin UART-väylää.

Työssä käytettyjen mikrokontrollerin ja ZigBee-moduulien toimintaan tutustumisessa käytettiin hyväksi tehdasvalmisteisia laitteille suunniteltuja kehityspiirilevyjä, jotka helpottivat komponenttien ohjelmoimista ja käyttöä toimien myös tietokoneen ja komponenttien välisenä rajapintana. Mikrokontrollerin kanssa käytettiin STK500-levyä, ja ZigBee-moduulien kanssa käytettiin kehityspaketin mukana tulleita Digi International:n rajapintalevyjä (ZigBee - USB ja RS-323).

Työssä käytettiin Atmel:n ATmega88-mikrokontrolleria. Mikrokontrollerin valintaan vaikutti sen hyvä saatavuus, ja riittävät ominaisuudet. Laboratoriossa oli aikaisemminkin käytetty samoja mikrokontrollereita, ja mikrokontrollerista löytyi tarvittava UART-väylä ja riittävästi vapaita pinnejä tarvittavien toimintojen toteuttamiseksi.

### 6.1 Käytetty verkko ja verkkolaitteet

Tämän työn sovelluksessa käytetään verkkotopologiana tähtiverkkoa, koska tehtävänä on järjestelmän toimivuus, eikä pyritä toimivan järjestelmän aikaansaamiseen. Todellisuudessa käytettäisiin klusteriverkkoa, joka mahdollistaisi laajojen alueiden

kattamisen. Peer-to-peer -verkko ei sovellu tähän käyttötarkoitukseen, koska se vaatisi sähköverkon käyttämistä virtalähteenä ja työn idea häviäisi. Käytetyn tähtiverkon koordinaattorina toimi tietokoneeseen yhdistetty keräyslaite ja terminaalit toimivat verkon loppulaitteina.

Koska kyseessä on koeluontoinen kehitysprojekti, ovat kaikki käytettävät ZigBee-moduulit täydentoiminnan laitteita erilaisten kokeilujen mahdollistamiseksi. Todellisessa sovelluksessa kaikki terminaalit olisivat supistetun toiminnan laitteita pienemmän virrankulutuksen ja halvemmän hintansa takia. Reitittimet ja koordinaattori ovat aina täyden toiminnan laitteita verkon toiminnan mahdollistamiseksi.

## 6.2 Työn vaiheet

Diplomityön käytännön osuus tehtiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa oli tarkoitus saada aikaiseksi toimiva demojärjestelmä. Sen avulla oli tarkoitus määrittää järjestelmän täyttämät vaatimukset ja päättää projektin jatkosta. Toisessa osiossa keskityttiin varsinaisen prototyypin tekemiseen.

Ensimmäisessä vaiheessa oli kolme itsenäistä kokonaisuutta: käytettävien komponenttien valitseminen, järjestelmän toiminnallisten lohkojen suunnittelu ja rakentaminen ja toiminnallisuuden ohjelmoiminen lohkoihin. Suurimpina haasteina oli käytetyn XBee-moduulin ja mikrokontrollerin hallitseminen, ja laitteiden keskinäisen toimimisen aikaansaaminen.

Toisessa vaiheessa keskityttiin elektroniikkalohkojen piirilevyjen suunnitteluun ja laitteiden kokoonpanoon. Piirilevyjen suunnitteluun meni reilusti aikaa, koska suunnittelusta ja suunnitteluun käytettävästä ohjelmistosta ei ollut aikaisempaa kokemusta. Laitteiden fysikaalinen suunnittelu ja rakentaminen vei myös aikaa, koska pyrittiin saamaan aikaan mahdollisimman kompakteja kokonaisuuksia. Varsinaiseen järjestelmään ei toisessa vaiheessa tehty suuremmin muutoksia, koska se oli saatu toimivaksi jo ensimmäisessä vaiheessa.

## 6.3 Demolaitteisto

Demolaitteiston kokoonpanona oli kaksi XBee-moduulin käytön mahdollistavaa Digi Internationalin rajapintalevyä (ZigBee - USB/RS-323), STK500 ATmega88:lla varustettuna ja itse rakennettu terminaalilevy, joka toimi lähtökohtana varsinaisen laitteiston suunnittelussa. Lisäksi demolaitteistoon kuului Python:lla luotu tietokoneohjelma, jolla voitiin taulukoida terminaalista tuleva data ja lähettää viestejä terminaalille. Demojärjestelmän halutun toiminnallisuuden saavuttamisen jälkeen

aloitettiin varsinaisen prototyypin suunnitteleminen.

### 6.3.1 Laitedemon suunnitelma

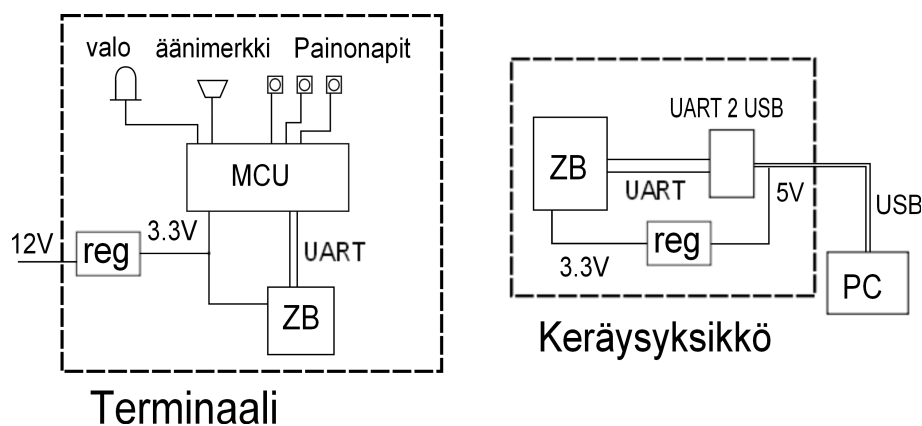
Kehitystyön ensimmäisen vaiheen tarkoituksena oli saada aikaiseksi toimiva langaton järjestelmä, joka tallentaa portaittaista palautetietoa haluttuun paikkaan. Aikaansaadun järjestelmän toiminta esiteltiin työn etenemisestä päättävillä tahoilla. Esityksen tarkoituksena oli arvioida järjestelmälle asetettujen tavoitteiden täyttyminen, jonka perusteella päätettiin projektin jatkosta. Seuraavassa on esitetty laitedemoa varten tehty suunnitelma.

Laitedemon tarkoituksena on osoittaa halutun toiminnallisuuden käytännöllinen toteutuminen. Tarkasteltavana on kolme toiminnallista lohkoa: terminaali, keräysyksikkö ja tietokoneohjelmistolla tapahtuva tietojen tallentaminen. Terminaalin tarkoituksena on tiedon kerääminen, ja sen lähettäminen tietokoneelle. Keräysyksikkö toimii rajapintana tietokoneen ja ZigBee-verkon välillä. Samalla se myös toimii ZigBee-verkon koordinaattorina, joka muodostaa ja ylläpitää ZigBee-verkkoa. Viimeinen toiminnallinen lohko on tietokoneohjelma, joka tallentaa keräysyksiköltä tulevan datan taulukkoon, ja mahdollistaa viestien lähettämisen halutulle terminaalille.

Demon tarkoituksen oli osoittaa järjestelmän kyky tallentaa terminaalin painonappien painaminen ja painalluksen ajankohta taulukkoon. Toinen laitteistolta haluttu ominaisuus oli hälytyksen aikaansaaminen painamalla kahta terminaalin painonappia samanaikaisesti. Terminaalissa oli myös ledi, joka voitiin sytyttää ja sammuttaa tehdyn tietokoneohjelman avulla. Näin oli mahdollista osoittaa luodun järjestelmän kaksisuuntaisuus, joka oli myös tärkeäksi koettu ominaisuus.

Demolaitteessa käytettiin hyväksi Reijulan väitöstutkimuksen yhteydessä tehdyn terminaalilaitteen koteloa paremman vaikutelman aikaansaamiseksi. Aikaisempaa laitteistoa ei kuitenkaan käytetty hyödyksi, vaan terminaalin koteloon lisättiin tätä työtä varten luotu elektroniikka. Terminaalissa käytettiin mahdollisimman paljon laboratoriosta löytyvää tavaraa. Terminaalin älynä käytettiin ATmega88-mikrokontrolleria, jolla hallittiin kaikkea terminaalissa tapahtuvaa toiminnallisuutta, kuten ledin palamista, ja painonappien painallusten tunnistamista.

Vaikka lopullisen laitteen vaatimuksiin kuului viiden painonapin hallitseminen, käytettiin demotilanteessa kotelossa valmiina ollutta kolmea painonappia. Tämä oli riittävä osoittamaan terminaalilta vaadittujen toimintojen täyttymisen, jotka olivat yhden painonapin painalluksen tunnistaminen ja useamman samanaikaisesti painetun napin tunnistaminen.



Kuva 17: Laitedemon lohkokaavio

Terminaalin käyttöjännitteenä käytettiin verkosta muunnettua 12 voltin tasajännitettä, joka sitten alennettiin piireille sopivaksi jännitteiksi. Vaikka lopullinen versio tulisi olemaan paristokäyttöinen, niin sitä ei toteutettu vielä tässä vaiheessa, koska demon tarkoituksena oli osoittaa vain järjestelmän soveltuvuus haluttuun sovellukseen, eikä haluttu käyttää liikaa aikaa paristokäyttöisen laitteen optimointiin.

Keräysyksikön tehtävänä on muodostettavan ZigBee-verkon koordinointi ja verkolta tulevan datan välittäminen PC:lle. Keräysyksikkö muodostuu ZigBee-moduulista, joka vastaa datan lähettämisestä ja vastaanottamisesta. Lisäksi keräysyksikössä oli UART-to-USB- muunnin mahdollistaen keräysyksikön ja tietokoneen välisen tiedonsiirron.

Tiedonsiirto terminaalilta keräysyksikölle tapahtuu langattomasti. Lähetettävä data siirretään mikrokontrollerilta ZigBee-moduuliin UART-sarjaväylää pitkin, josta tieto siirtyy langattomasti keräysyksikköön. Keräysyksikössä data muutetaan USB:n käyttämään muotoon, jolloin data voidaan siirtää tietokoneeseen USB-väylää pitkin. Kuvassa 17 on esitettyä laitedemossa käytetyn järjestelmän lohkokaaviokuva.

## 6.4 Järjestelmän prototyyppi

Demojärjestelmän toiminnan toteamisen jälkeen aloitettiin prototyypin suunnittelu. Demolaitteen elektroniikan kasaamisessa käytettiin prototyyppilevyjä, nopeuden ja edullisuuden aikaansaamiseksi. Prototyypin kohdalla suunniteltiin terminaalia ja keräysyksikköä varten omat painetut piirilevyt. Piirilevyjen suunnitteluun käytettiin PADS-piirilevynsuunnitteluohjelmistoa, jonka avulla pystytään piirtämään kaikki piirilevyn tekovaiheessa tarvittavat kuvat. Levyt teetettiin ulkopuolisella yrityksellä.

Prototyypivaiheessa järjestelmälle oli olemassa kaksi erilaista sovellusta. Ensimmäinen sovellus on työssä alun perin haluttu ja demovaiheessa toteutettu datanke-

räyssovellus ja toinen on terminaalilaitteilla tapahtuva pelisovellus. Pelisovelluksen tarkoituksena oli paremmin tuoda esille järjestelmän solmujen välistä kaksisuuntaista tiedonkulkua. Molemmat sovellukset on esitelty paremmin tämän kappaleen loppupuolella.

#### 6.4.1 Terminaalilaitteen toiminta

Terminaalilaitteen periaatteellinen toiminta on pysynyt Con-Dis -laitteeseen nähden samana. Järjestelmän käyttäjä painaa terminaalilaitteen painiketta antaakseen jonkinlaisen vastauksen haluttuun kysymykseen, jonka järjestelmä tallentaa johonkin tietojärjestelmään. Järjestelmän käytännölliset muutokset ovat kuitenkin suuria Con-Dis -laitteeseen nähden. Huomattavia muutoksia ovat muun muassa terminaalilaitteiden langattomuus ja tietojen siirtyminen suoraan haluttuun paikkaan. Seuraavassa taulukossa on vertailtu Con-Dis -laitteen ja työssä tehdyn järjestelmän välisiä eroja tietyillä osa-alueilla.

Taulukko 3: Terminaalilaitteiden toiminnallisia ratkaisuja

Laiteversio	virtalähde	painikkeiden määrä	palaute käyttäjälle	tiedonsiirto
Con-Dis	verkko	3	summeri	muistikortti
Demolaitte	verkko	3	ledi	Zigbee
Prototyyppi	paristo	5	summeri	Zigbee

Laitteen prototyyppi on toiminnallisesti hyvin samanlainen demolaitteiston version kanssa. Kuitenkin demolaitteesta poiketen prototyyppi on paristokäyttöinen. Verkkovirran käyttäminen demolaitteessa helpotti järjestelmällä tehtyä kehitystyötä. Demovaiheessa ei laitteen virrankulutusta säädelty mitenkään, minkä takia paristojen elinikä olisi ollut suhteellisen lyhyt. Prototyypistä löytyviä toiminnallisia komponentteja ovat 5 painonappia, ATmega88-mikrokontrolleri, XBee-moduuli, summeri. Summeria ajetaan mikrokontrollerin ohjaamalla FET-kytkimellä, jolloin virta saadaan suoraan virtalähteestä (paristo), eikä mikrokontrollerin läpi ajeta virtaa turhaan.

Paristokäyttöisyyden johdosta terminaalilaitteelle on tärkeää pieni virrankulutus, jolloin on pyrittävä pitämään laitteen aktiivinen aika mahdollisimman pienenä. Tämä vaatii terminaalien saamisen lepotilaan, ja niiden herättämisen tarvittavaksi ajaksi. Laitteen nukuttaminen kuuluu mikrokontrollerissa olevan ohjelman toimintasykliin, jolloin laite menee lepotilaan jokaisen ohjelmakierroksen jälkeen. Terminaalissa olevan XBee-moduulin aktivoinnista ja lepotilaan laittamisesta on vastuus-

sa mikrokontrolleri, joka ohjaa XBee-moduulin *SLEEP\_REQUEST*-pinnin tilaa. Tällä pinnillä pystytään ilmoittamaan moduulille haluttu tila, jota moduuli pyrkii noudattamaan.

Mikrokontrolleri on lepotilassa asetettu Power-down-tilaan, jolloin kaikki mahdollinen toiminta on poistettu käytöstä pienimmän mahdollisen virrankulutuksen saavuttamiseksi. Mikrokontrollerin herättäminen tapahtuu valittujen pinnien tilaa muuttamalla, joka aiheuttaa keskeytyksen ja laitteen heräämisen. Tämän jälkeen ohjelma menee yhden askeleen eteenpäin, jolloin painettu nappi tunnistetaan, XBee-moduuli herätetään, tieto napin painamisesta lähetetään eteenpäin ja XBee-moduuli asetetaan takaisin lepotilaan. Sama kierto jatkuu kunnes paristot loppuvat.

Pelisovelluksen kohdalla ei mikrokontrolleria aseteta missään vaiheessa lepotilaan. Tähän oli syynä, ettei mikrokontrolleria saatu heräämään tarpeeksi nopeasti datapaketin tullessa laitteelle. Tästä johtuen mikrokontrolleri ei saanut vastaanotettua kaikkea lähetettyä dataa, joka johti laitteen virheelliseen toimintaan.

Tämä ongelma olisi mahdollisesti voitu korjata käyttämällä kahden lähetyksen periaatetta, jossa viesti olisi lähetetty terminaalille kaksi kertaa. Ensimmäisen lähetyksen tarkoituksena olisi ollut mikrokontrollerin herättäminen ja toisessa lähetyksessä olisi annettu laitteelle lähetettävä data.

#### 6.4.2 Terminaalin ulkoasu

Kuvassa 18 on esitetty prototyypissä käytetty terminaaliksiikkö. Laitteen ulkonäkö eroaa huomattavasti alkuperäisen Con-Dis -laitteen ulkonäöstä (kuva 2). Tämä selittyy paljon sillä, että prototyypin tarkoituksena oli luoda toimiva rajapinta käyttäjän ja järjestelmän välille. Kotelon vaatimuksina oli lähinnä viiden painikkeen olemassaolo ja sähköosien suojaaminen ulkoisilta voimilta.



Kuva 18: Prototyypin terminaali

Prototyypin terminaali pyrittiin saamaan mahdollisimman kompaktiksi, jotta sitä voitaisiin operoida yhdellä kädellä. Painikkeet on sijoitettu niin, että painikkeiden painaminen olisi mahdollisimman helppoa oikeakätiselle. Myös LCD-näytön käyttämistä terminaalissa harkittiin. Kuitenkin siitä luovuttiin, koska sen ei koettu antavan merkittävää lisäarvoa järjestelmälle.

Materiaaliksi valikoitui ABS-muovi, joka on edullista, kevyttä ja riittävän vahvaa käyttötarkoitukseen. Tärkeänä oli myös hyvä työstettävyys, koska koteloita jouduttiin muokkaamaan. Metallinen kotelo ei soveltunut käyttöön sen radiosignaalia häiritsevän vaikutuksen takia.

### 6.4.3 Käytetyn tietokoneohjelman toiminta

Työssä käytetty tietokoneohjelma tehtiin python-ohjelmointikielellä. Alun perin oli tarkoitus tehdä graafisella käyttöliittymällä varustettu C++-kielinen ohjelma Qt:tä käyttäen. Kuitenkin sarjaportin lukuun liittyvien ongelmien vuoksi sitä ei toteutettu. Lopulta tietokoneohjelma toteutettiin tekstipohjaisena. Käytetyltä ohjelmalta vaaditaan kolme erilaista perustoimintoa: datan vastaanotto, vastaanotetun datan käsittely ja datan lähetys halutulle laitteelle.

Käytetyssä järjestelmässä tietokoneelle tulevan datan lukemisessa on tärkeää, että tavuja luetaan oikea määrä. Muutoin datanlukemisprosessi menisi sekaisin ja järjestelmän toiminta loppuisi. Datapaketin lukemisen jälkeen täytyy siitä erotella halutut tiedot, koska tietokoneelle tuleva data oli API-muotoista. API-paketin rakenne on esitetty edellisessä luvussa.

Datapaketista eroteltuja tietoja käsitellään sille määrättyjen toimenpiteiden mukaan. Tässä sovelluksessa on kolme erityyppistä toimenpidettä: osoitetietojen tallentaminen, painiketiedon tallennus, datapaketin lähetyskäsken vastaanottaminen. Aina kun vastaanotetaan datapaketti uudelta lähettäjältä, tallennetaan sen tiedot ohjelman ylläpitämään rekisteriin. Rekisterin avulla voidaan lähettää datapaketteja kullekin järjestelmässä mukana olevalle terminaalille. Vastaanotetut painiketiedot tallennettiin haluttuun kohdetiedostoon. Tietokoneen vastaanottaessa datapaketin lähetyskäsken, kopioi se paketin sisällön ja lähettää kaikille järjestelmän terminaalille.

Ohjelmaan on luotu omia metodeja datan lähettämistä varten. Datanlähetys voitiin aikaansaada antamalla käsky manuaalisesti, tai jonkin toisen verkossa olevan laitteen pyynnöstä. Ohjelma luo automaattisesti lähetystä varten tarvittavan API-paketin.

#### 6.4.4 Laitteen virrankulutus

Laitteiston nukkuessa kuluttaa se virtaa 3 V:n jännitteellä 1  $\mu\text{A}$ :n. Vastaavasti virrankulutushuippu, mikä ajoittuu tietojen lähettämisen yhteyteen, on 43 mA. Tietojen lähettämiseen käytetty aika on arviolta noin 60 ms. Lähetykseen käytetty aika on saatu käyttämällä mikrokontrollerissa vapaana ollutta ajastin/laskuria, joka käynnistettiin ennen lähetysten aloittamista ja pysäytettiin lähettämisen päätyttyä.

Prototyypissä käytettävän pariston varaus on 75 mAh. Olemassa olevien tietojen perusteella voidaan laskea teoreettinen pariston kestoikä. Kun lepotirta on 1  $\mu\text{A}$ , lähetykseen käytetty virta 43 mA, lähetysten kesto 60ms ja pariston energia 75 mAh, saadaan pariston kestoksi noin 40 000 painallusta suoritettuna viiden vuoden aikana. Tällöin painallusten kertymä olisi 22 päivää kohden.

Arvio perustuu edellä esitettyjen lepotilan ja lähetysten kuluttaman virran summaan. Tulos on lähinnä suuntaa antava, eikä se ota huomioon pariston jännitteen alenemaa eikä paristo omaa purkautumista. Tällöin terminaalin toiminta voi loppua jo ennen arvioitua aikaa.

#### 6.4.5 Keräyssovellus

Keräyssovellus toteuttaa diplomityössä alun perin halutun sovelluksen. Painettaessa terminaalin painonappia lähetetään painamisesta tieto tietokoneelle, joka tallentaa sen haluttuun paikkaan.

Koska saatu data haluttiin taulukkomuotoon käytettiin tiedostossa csv-tyyppiä. Taulukko-ohjelmat, kuten Microsoft Office Excel ja OpenOffice.org Calc, osaavat tulkita csv-tyypistä tiedostoa taulukkomuotoisena. Tiedostomuoto käyttää sarakkeiden erottamiseen pilkkua tai puolipistettä ohjelmasta riippuen. Toinen esillä ollut vaihtoehto olisi ollut kirjoittaa tiedot suoraan Microsoft Office Excel -tiedostoon. Tämä olisi kuitenkin vaatinut jokaisella tallennuskerralla ohjelman ajamisen, eikä olisi parhaimmillaankaan ollut tehokkuudeltaan samaa tasoa, kuin työssä käytetty ratkaisumalli.

Keräyssovelluksen tietokoneohjelma ottaa vastaan terminaaleilta tulevia painallustietoja ja tallentaa ne haluttuun tiedostoon taulukkomuotoon. Taulukkoon tallennetaan lähettäneen laitteen tunnus, vastaanotettu data, mikä tässä tapauksessa oli numero 1-5, ja datan vastaanottamisen ajankohta.

Painallusten vastaanottamisen lisäksi ohjelma pitää listaa verkossa aktiivisina olevista terminaaleista, joka päivittyy aina uuden laitteen lähettäessä painallustietoja. Jokaiselle laitteelle oli annettu yksilöllinen tunnus, jonka käsittely oli helpom-

paa, kuin XBee-moduulin 64-bittisen osoitteen.

```
13 100;1;09:29;2010.11.22
14 100;4;09:29;2010.11.22
15 102;3;09:30;2010.11.22
16 102;5;09:32;2010.11.22
17 100;2;09:32;2010.11.22
18 102;1;09:32;2010.11.22
19 100;4;10:09;2010.11.22
20 102;3;10:10;2010.11.22
21 100;1;10:10;2010.11.22
22 102;1;10:11;2010.11.22
```

Kuva 19: Painallustiedot tiedostoon tallennettuna

Kuvassa 19 on esitetty painallustietojen muoto, jolla ne tallennetaan taulukkoon. Harmaalla pohjalla olevat numerot ovat tekstinkäsittelyohjelman rivinumeroita, ja valkoisella pohjalla on painallustiedot. Jokaiselle painallukselle on oma rivinsä. Jokaisesta painalluksesta kerrotaan käytetyn terminaalin numero, painettu painike, aika ja päivämäärä kerrotussa järjestyksessä. Tiedot erotellaan puolipisteillä, jotka merkitsevät sarakkeen vaihtoa. Käytetty csv-tiedosto avautuu automaattisesti taulukko-ohjelmassa, ja on saman tien valmis muokkausta varten.

#### 6.4.6 Peli-sovellus

Pelisovellus luotiin keräyssovelluksen lisäksi, jotta voitaisiin osoittaa mahdollisimman monipuolisesti käytetyn järjestelmän ja laitteiden ominaisuudet.

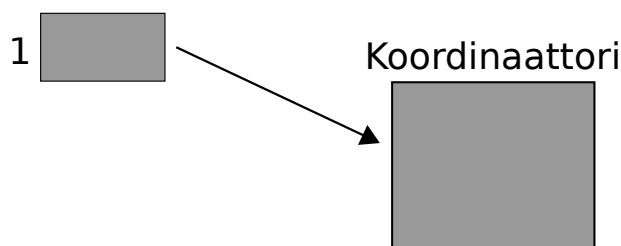
Luodun pelisovelluksen tarkoituksena oli tuoda paremmin esille järjestelmän kahdensuuntainen datankulku. Toteutetussa järjestelmässä käytettiin kolmea terminaaliksiikköä ja tietokoneen ZigBee-verkkoon liittävää keräysyksikköä. Keräysyksikön tehtävänä oli toimia ZigBee-verkon koordinaattorina ja sen kautta peliä voitiin ohjata tietokoneohjelman avulla. Vaikka peli tapahtuu näennäisesti terminaaliksiköillä, niin kaikki liikenne kulkee keräysyksikön ja tietokoneohjelman kautta, joka huolehtii viestien reitittämisestä.

Koska terminaalilaitteiden ZigBee -moduulit on varustettu läpäisevällä toimintamoodilla, kommunikoivat ne ainoastaan verkon koordinaattorin kanssa. Tällöin tietokoneohjelma on ainoa keino välittää data eteenpäin. Lisäksi mukana olevien terminaalilaitteiden osoitelista on vain tietokoneohjelman taulukossa. Loppujen lopuksi suuri osa pelin toiminnasta tapahtuu tietokoneella, vaikka kaikki pelaaminen tapahtuu terminaaleilla. Seuraavassa on esitetty pelisovelluksen idea ja kulku.

Pelin tarkoituksena on, että yksi pelissä mukana olevista pelaajista painaa terminaalin painonappia, jota muiden pelaajien on tämän jälkeen tarkoitus painaa. Ensimmäisen painonapin painamisen jälkeen soi muiden pelaajien terminaalien sumerit halutun painikkeen arvoa vastaavan määrän (1-5). Pelaajien painettua terminaalinsa painonappeja antaa terminaalit palautteen oikean napin painamisesta korkealla äänellä ja väärän napin painamisesta matalalla äänellä.

Pelin kulkua ohjaa tietokoneohjelma, joka vastaanottaa painokäskyn ja lähettää sen muille terminaaleille. Tietokoneohjelma ilmoittaa myös näytöllä pelin kulkuun liittyviä tietoja, kuten painettavaksi pyydetyn painikkeen numeron ja annettujen vastausten oikeellisuuden. Ohjelma pitää myös huolen siitä ettei uutta painamispyyntöä voida antaa ennen kuin kaikki ovat vastanneet edelliseen pyyntöön. Näin estetään pelin ajautuminen jonkinlaiseen virhetilaan, missä terminaalit eivät enää toimi oikein. Painalluspyyntö voidaan antaa mistä tahansa pelissä mukana olevalta terminaalilta.

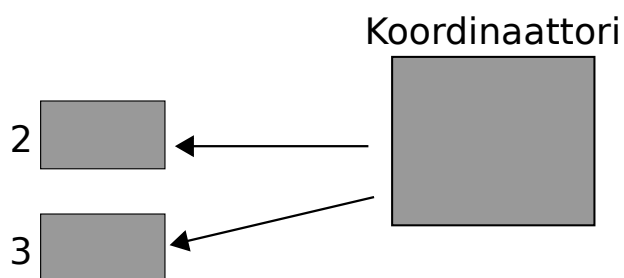
Ensimmäiseksi selvitetään pelissä mukana olevat laitteet lähettämällä niille laitekysely. Kyselyssä tietokoneohjelma lähettää kaikille verkossa oleville terminaaleille viestin, jonka vasteena ne lähettävät omat tunnuksensa. Tässä tapauksessa laitekyselyviestin sisältönä on käytetty merkkiä "6", koska haluttiin jokin yhden merkin pituinen viesti ja 1-5 oli jo käytössä.



Kuva 20: Painalluspyynnön lähettäminen tietoneelle

Laitekyselyn palautteena antavat terminaalit oman tunnuksensa. Tässä tapauksessa ne ovat 1, 2 ja 3. Tämän jälkeen tunnukset ovat laitelistassa, ja peli voidaan aloittaa. Tunnusten tarkoituksena on luoda helppo tapa tunnistaa terminaalit. Jokaisella ZigBee-moduulilla on olemassa oma yksilöllinen 64-bittinen osoitteensa, mutta tunnusten käyttäminen on huomattavasti helpompaa. Linkittämällä terminaalien tunnukset vastaaviin laiteosoitteisiin saadaan aikaiseksi huomattavasti helpompi tapa lähettää dataa tietylle terminaalilaitteelle.

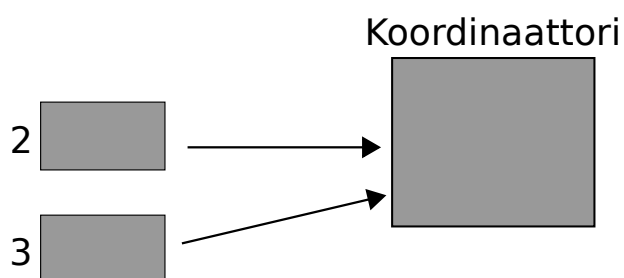
Pelin ensimmäisessä vaiheessa (kuva 20) yhden pelissä olevan terminaalin painonappia painetaan, ja terminaalit lähettävät keräysyksikölle viestin "x:y". Viestissä x tarkoittaa terminaalin tunnusta ja y tarkoittaa painettua painonappia.



Kuva 21: Painalluspyynnön lähettäminen terminaaleille

Saatuana painalluspyynnön lähettää tietokoneohjelma painalluspyynnön eteenpäin kaikille laitelistassa oleville terminaaleille, joiden tunnus poikkeaa pyynnön lähettäneestä terminaalista (kuva 21). Samalla tietokoneen näytöllä kerrotaan pyydetyn painonapin arvo.

Vastaanotettuaan pyynnön soittaa terminaalin summeria pyydettyä arvoa vastaavan määrän, ja jää odottamaan painallusta. Painalluksen jälkeen ilmaisee laite painalluksen oikeellisuuden. Laite lähettää tuloksen painalluksen oikeellisuudesta takaisin ohjelmalle (kuva 22). Viestissä ilmoitetaan terminaalin tunnus, painalluksen oikeellisuus ja painetun painonapin arvo.



Kuva 22: Painallustiedon lähettäminen tietokoneelle

Kuvassa 23 on esitetty pelin aikaisia tulosteita. Ylimpänä näkyy ohjelmassa olevassa olevat toiminnot. Toimintojen alapuolella on esitetty pelin kaksi kierrosta. Ensimmäisessä kierroksessa tunnuksella 2 varustettu terminaali antaa painalluspyynnön painikkeelle 1. Tämän jälkeen tunnuksella 1 olevaa terminaalia on painettu oikein ja tunnuksella 3 olevaa terminaalia on painettu väärin. Toinen esitetty kierros on vastaavanlainen. Kuva alalaidassa oleva "x" lopettaa ohjelman.

```

Toiminnot:
1. laitetiedustelu
2. laitelista
3. lahetä viesti
4-8. painikekehoitukset 1-5
x. Lopeta ohjelman suorittaminen

2
Paina painonappia 1

1
Oikein, painettu painonappia 1

3
Vaarin, painettu painonappia 3

3
Paina painonappia 4

2
Vaarin, painettu painonappia 5

1
Vaarin, painettu painonappia 2
x

```

Kuva 23: Näytön toiminta pelin aikana

## 6.5 Langattoman tiedonkeruujärjestelmän kehitysmahdollisuudet

Seuraavassa on pohdittu mahdollisia datankeruuverkkoa ja käytettäviä terminaalilaitteita koskevia kehitysmahdollisuuksia.

### 6.5.1 Datankeräysverkon kehitysmahdollisuudet

Työssä toteutettu järjestelmä on pienimuotoinen osoitus siitä, minkälaista toiminnallisuutta ZigBee:tä käyttävällä langattomalla palautteenkeräysjärjestelmällä voidaan saavuttaa. Langattomalla verkolla toteutettiin kahteen suuntaan toimiva tähtiverkkoa käyttävä järjestelmä, jossa kaikki mukana olevat laitteet ovat kykeneviä lähettämään ja vastaanottamaan dataa.

Käytetty langaton verkko antaa kuitenkin mahdollisuudet paljon suurempiin järjestelmiin. Käyttämällä hyväksi ZBee:n tarjoamaa klusteriverkkotopologiaa voidaan toteuttaa kokonaisen hoitolaitoksen tai palvelutalojen kattavia järjestelmiä, joissa kaikkien laitoksen asiakkaiden tilaa voidaan tarkkailla päivittäin. Samassa järjestelmässä voidaan toteuttaa myös hälytystoiminto, jolloin hoitohenkilökunta voi nopeasti reagoida ongelmatilanteisiin.

Järjestelmän toimintaa voidaan kuitenkin laajentaa hyödyntämällä myös muita

tietoverkkoja. Päälimmäisenä tulee mieleen Internetin käyttäminen tietojen siirtämisessä. Internet:iä käyttämällä on mahdollista yhdistää järjestelmään myös maantieteellisesti eristyksessä olevat pienemmät yhteisöt, kuten vanhuksille suunnatut rivi/kerrostalot.

Tässä konseptissa dataa kerätään normaaliin tapaan langattoman verkon keskuksen. Paikallisen keskuksen tehtävänä on lähettää saatu data jonnekin, mistä se on helposti saatavissa. Tätä kautta pystytään laajemmin samaan haluttua dataa. Tietoturvallisuus on kuitenkin aina otettava huomioon käytettäessä avoimia verkkoja.

### **6.5.2 Terminaalilaitteen kehitysmahdollisuudet**

Vaikka työssä käytettyjen terminaalien käyttöliittymä koostui painikkeista ja summerista, toisi LCD-näytön käyttäminen laitteeseen selkeyttä. Alkuperäisessä Con-Dis -laitteessa näyttö oli lähinnä toiminnan varmistamista varten, mutta sen kautta olisi mahdollista välittää laitteen käyttäjälle haluttuja tietoja. Näytön kautta voitaisiin esittää halutut kysymykset tai ohjata laitteen käytössä.

Näyttöä voitaisiin hyödyntää monipuolisesti langattoman verkon konseptia käyttäen. Kahdensuuntaisen liikenteen johdosta terminaaleilla esitettäviä kysymyksiä voitaisiin vaihtaa haluttuina hetkinä, tai esittää jotain muuta informaatiota käyttäjälle. Langatonta tiedonsiirtoa käyttävän järjestelmän johdosta laitteiden käyttömahdollisuudet ovat merkittävästi suuremmat.

## **6.6 Sovelluskohteet ja käytännön toteuttamiskelpoisuus**

Työssä toteutetun palautteenkeruujärjestelmän tarkoituksena oli viedä Con-Dis-konseptia eteenpäin. Työn edetessä järjestelmälle on tullut esiin myös muita mahdollisia sovelluskohteita, kuten erilaisten palveluntarjoajien asiakastyytyväisyyden selvittäminen ja interaktiivisen luennon suorittaminen. Sovellusten tullessa esiin on tullut esiin myös olemassa olevia ratkaisuja. Seuraavassa pohditaan minkä tyyppisiä eri sovelluskohteet ovat ja mahdollisuutta toteuttaa sovellus ottaen huomioon olemassa olevat ratkaisut.

### **6.6.1 Interaktiivisten kertauskysymysten toteuttaminen**

Nykyään on tarjolla järjestelmiä, jotka mahdollistavat interaktiivisten luentojen järjestämisen. Järjestelmä koostuu lähettävistä käyttäjäpääteistä, jonka avulla esim.

annetaan vastaus esitettyyn kysymykseen. Toisena osana on itsenäinen tai tietokoneeseen yhdistetty radiovastaanotin, jolla kerätään annetut vastaukset. Kerätyt vastaukset voidaan saman tien analysoida ja esittää videotykillä, tai tallentaa ja analysoida myöhemmin.

Seuraavassa lainauksessa Tapani Heino analysoi ZigBee:n käyttökelpoisuutta luentokuulustelusovellukseen "Toisin sanoen järjestelmä toimii melkein täydellisesti, mutta sen käyttötarkoitus tarkkaa reaaliaikaista monivastausta tukevana sovelluksena ei vastaa parhaiten sen vahvuuksia ja käyttötarkoitusta. Myös Zigbeeen vahvasta verkon itsenäisyydestä ei ole tällaisessa sovelluksessa sellaista etua, että sitä tarvitsisi käyttää. Loppuarviona Zigbee ja älyverkot vakuuttavat nykyisellä toimintavarmuudella todella hyvin. Ongelma on, että se ei sovellu optimaalisesti tällaiseen sovellukseen, vaan sen vahvuudet ovat mittausdatan keräämisessä, varsinkin olosuhteissa, missä sitä ei tarvitse tehdä jatkuvasti sekä missä verkottumista kaivataan enemmän, kuten paikoissa missä mittausdata tulee hajanaisemmin eri paikoista." [12]

Edellinen lainaus on otettu Tapani Heinon päättötyöstä, jossa hän toteutti langattoman luentokuulustelujärjestelmän ZigBee:tä käyttäen. Työn perusteella hän tuli tulokseen, ettei Zigbee sovellu kovin hyvin sen tyyppiseen sovellukseen. Luentokuulustelujärjestelmiä on toteutettu lukuisia, ja Suomessakin on tarjolla monia yrityksiä, jotka tarjoavat interaktiivisten luentojen mahdollistavia laitteistoja.

Esimerkki laitteistosta on 10-painikkeinen käyttäjäpääte ja keskusyksikkö, jolla vastaukset kerätään. Järjestelmien kaikki tiedonsiirto tapahtuu keskusyksikön ja käyttäjäpääteen välillä. Tämän tyyppisessä järjestelmässä protokollalta vaaditaan nopeutta ja keskusyksiköltä kykyä hallita riittävän suurta määrää laitteita samanaikaisesti.

ZigBee on suunnattu fysikaalisesti laajalle levittyneisiin verkkoihin, joissa suora yhteys keskusyksikköön ei ole yleensä mahdollinen. Tämän takia ZigBee:llä on erinomainen reitityskyky, mikä hidastaa sen tietoliikennettä. ZigBee:n koordinaattorin rajallisen lapsitaulukon (XBee, 10 lasta) takia vaadittaisiin verkon laajentamiseksi reitittämiä (XBee, 12 lasta), joiden avulla voitaisiin saada aikaiseksi riittävän suuri verkko. ZigBee ei ole kovin toteuttamiskelpoinen tämän tyyppisiin laajoihin keskittyihin verkkoihin.

### 6.6.2 Asiakaspalvelun palautteen kerääminen

Toinen saman tapainen sovellus on HappyOrNot:n toteuttaman kauppojen asiakastyytyväisyyden kysely. Asiakaskysely suoritetaan käyttämällä palvelupaikassa yhtä langatonta päätettä, jonka välityksellä ihmiset antavat palautetta yritykselle. Hap-

pyOrNot:n sovelluksessa on todennäköisesti käytetty jotain yksinkertaista langatonta protokollaa tietojen siirtämiseksi yhdyskäytävälle. Yhdyskäytävästä tiedot sitten siirretään langallista verkkoa käyttäen yrityksen palvelimelle.

Tämän tyyppisessä sovelluksessa ei ZigBee:n monipuolisuudesta ole hyötyä, ja langattoman tiedonsiirron osuus voidaan toteuttaa lähes millä protokollalla tahansa. Jos kysymyksessä olisi palautteenkeräyslaitteiden verkko, missä palautepäätteet olisi levitetty laajalle alueelle, voisi ZigBee:ssä olla omat etunsa. Yksittäisen päätteen kohdalla ei kuitenkaan ZigBee:llä ole etua yksinkertaisempiin protokolleihin nähden.

### 6.6.3 Vanhusten ja vajaatoimintaisten palautteenkeruu

Parhaiten ZigBee soveltuu tarkoitukseen, joka on tämän työn aiheena. Laajoissa laitoksissa tapahtuva tietojen kerääminen potilaiden hyvinvoinnista on mielestäni ZigBee:lle parhaiten soveltuva sovelluskohde. Tämä tyyppistä sovellusta ei ilmeisesti kaupallisesti ole vielä toteutettu, mahdollisesti markkinoiden takia, joita ei ole tai joita ei ole tajuttu.

Luotettavan tiedonsiirron ansiosta pystytään dataa kuljettamaan useankin hyppyn päähän, ja reitittimien vioittuessa on mahdollista kuljettaa data toista reittiä. ZigBee on kehitetty datan keräämiseen hajanaisissa anturiverkoissa, ja siinä se on omimmillaan. Muut esitetyt sovellukset ovat kuitenkin teknologisesti huomattavasti yksinkertaisempia, eikä ZigBee käyttäminen tuo niihin lisäarvoa.

## 7 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli viedä olemassa olevaa Con-Dis -konseptia eteenpäin toteuttamalla langattoman palautteenkeruujärjestelmän prototyypin. Con-Dis -konseptissa vanhuksilta/vajaatoimintaisilta kerätään 3-portaista dataa elektronista laitetta käyttäen. Con-Dis -laitteen tapauksessa tiedot tallennetaan muistikortille, josta ne on manuaalisesti kerätään analysointia varten. Työssä kehitetyn prototyypijärjestelmän tarkoituksena oli mahdollistaa kerätyn datan siirtäminen suoraan tietokoneelle analysoitavaksi, näin tehostaen tiedonkeräysprosessia.

Järjestelmän langattomassa tiedonsiirrossa käytettiin ZigBee-protokollaa. Protokolla mahdollistaa laajojen yli 50000 solmua sisältävien verkkojen luomisen. Verkko mahdollistaa datan lähettämisen minkä tahansa kahden solmun välillä verkon sisäisiä reittejä hyväksi käyttäen. Näin ollen työlle annetut vaatimukset 128 solmua mahdollistavasta 2-suuntaisesta verkosta toteutuvat ZigBee:n osalta.

Työssä rakennettu järjestelmä koostui kolmesta terminaalisyksiköstä ja keräysyksiköstä, jolla ohjattiin verkon toimintaa ja luotiin rajapinta tietokoneen ja langattoman verkon välille. Terminaalisyksiköt on varustettu 5 painikkeella, joiden avulla on mahdollista kerätä 5-portaista dataa. Painikkeiden lisäksi käyttäjärajapintaan kuuluu summeri, jolla voidaan antaa palautetta käyttäjälle tai pyytää käyttäjää antamaan palautetta. Työssä käytetty verkko on suppea mahdollisuuksiin nähden, mutta tarkoituksena oli osoittaa terminaalien ja tietokoneen välisen yhteyden toimivuus. Kokeissa käytetty verkko saatiin toimimaan moitteettomasti.

Järjestelmällä toteutettiin kaksi erilaista sovellusta. Keräyssovelluksella toteutettiin Con-Dis -laitetta vastaava toiminnallisuus langatonta tiedonsiirtoa käyttävässä muodossa. Sovelluksessa terminaalien painikkeiden painallukset tallentuvat tietokoneelle haluttuun tiedostoon taulukkomuotoisena. Taulukoitu data sisältää tiedot käytetystä terminaalista, painetusta painikkeesta ja painamisen ajankohdasta. Näin data saadaan valmiiksi analysoitavassa muodossa, joka nopeuttaa prosessia.

Toisena sovelluksena on terminaalieja käyttävä peli, joka on selitettyä kohdassa 6.4.6. Pelisovelluksen tarkoituksena on osoittaa konkreettisesti järjestelmän mahdollistama kahdensuuntainen datansiirto.

Työssä toteutetut sovellukset ovat suuntaa antavia siitä mitä käytetyllä langattomalla verkkoprotokollalla on mahdollista toteuttaa. ZigBee-protokolla on alun perin tarkoitettu teollisuuden automaatioon ja antureiden langattomaan lukemiseen, mutta sen sovellusalue on ajan myötä laajennut myös kodin automaatioon ja hälytysjärjestelmiin. Matala siirtonopeus (250kbit/s) rajoittaa datan siirtämisen, mutta erilaisiin ohjaus- ja seurantasovelluksiin se on riittävä.

Kohdassa 6.5 pohditaan kehitysmahdollisuuksia koskien palautteenkeruujärjestelmää. Internet:in yhdistämällä ZigBeen:n alueellisista rajoituksista päästään eroon, jolloin palautteenkeruujärjestelmä voidaan toteuttaa suuremmassa mittakaavassa. Useamman protokollan yhdistelmällä päästää käsiksi myös maantieteellisesti syrjässä oleviin keskuksiin.

Kohdassa 6.6 kerrotaan kolme eri sovelluskohdetta, jotka käyttävät työssä tuotettua datankeräyspalvelua. Sovelluskohteina ovat vanhusten/vajaatoimintaisten datankeruu, palvelukeskuksiin tarkoitettu palautteenkeruulaite, ja luennoille suunnattu vastausyksikkö. Lisäksi sovellusten arvioidaan ZigBee:n soveltuvuutta kyseisiin käyttökohteisiin.

Kehitetyn laitteiston perusteella ZigBee:llä toteuttava palautteenkeruujärjestelmä on hyvin varteenotettava kehityssuunta Con-Dis -konseptille. Langattoman järjestelmän käyttäminen antaa paljon enemmän vapauksia niin loppukäyttäjälle kuin järjestelmän ylläpitäjällekin. Lisäksi palautteen kerääminen on huomattavasti tehokkaampaa langatonta tiedonsiirtoa käytettäessä.

## Viitteet

- [1] Tilastokeskus *Väestön huoltosuhde 1950-2009 ja ennuste 2010-2050* Päivitetty 16.04.2011 Viitattu 16.04.2011 [http://tilastokeskus.fi/til/vaerak/2009/01/vaerak\\_2009\\_01\\_2010-09-30\\_kuv\\_002\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/vaerak/2009/01/vaerak_2009_01_2010-09-30_kuv_002_fi.html)
- [2] Reijula, J. *Using well-being technology in monitoring elderly people - a new service concept* Espoo, Aalto-yliopisto, Tekniikan korkeakoulu, 2010. ISBN 978-952-60-3309-9
- [3] Intervote Päivitetty 08.10.2011. Viitattu 08.10.2011. Saatavissa: <http://www.intervote.nl/default.aspx?sid=32&pid=316&ln=gb>
- [4] Avac Oy Päivitetty 08.10.2011. Viitattu 08.10.2011. Saatavissa: <http://www.avack.fi/etusivu>
- [5] HappyOrNOt Päivitetty 08.10.2011. Viitattu 08.10.2011. Saatavissa: <http://www.happyornot.fi/>
- [6] Labiod, H., Affi, H., De Dantis, C. WI-FI™, BLUETOOTH™, ZIGBEE™ AND WIMAX™ Springer, Hollanti, 2007. ISBN 978-1-4020-5397-9
- [7] Galeev, M. T. *Catching the Z-Wave*. Lokakuu 2006. [viitattu 3.12.2010] <http://www.drdoobs.com/embedded-systems/193104353>
- [8] IEEE Std. 802.15.4-2006. Part 15.4: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)* , 2006
- [9] ANSI/IEEE Std 802.2 Local and metropolitan area networks specific requirements part 2: *Logical link control*, 1998
- [10] *ZigBee Specification*, Document 053474r17 , ZigBee Alliance, 2008
- [11] Zigbee, Zigbee Alliance Viitattu 01.11.2011 Saatavissa: <http://www.google.fi/url?sa=t&source=web&cd=6&ved=0CEkQFjAF&url=http%3A2F%2Fuk.farnell.com%2Fimages%2Fen%2Fede%2Fcomm%2Fpdfs%2F23.Zigbee.pps&ei=aqlXTbiuKoHGtAaQiaWlCw&usg=AFQjCNE69K-ZjfEb-B5uBLm0BhSGCFK0Mw>
- [12] Tapani Heino "Älykäs äänestysjärjestelmä *Zigbeellä toteutettu mesh-pohjainen älyverkko*", Metropolia Ammattikorkeakoulu, 4.3.2011
- [13] *Product manual xb ZigBee, RF modules v1.x1x*, Digi international, 2010
- [14] Telegesis. ETRX3 ZigBee-moduulin datasivu. Verkkodokumentti. Päivitetty 13.06.2011. Viitattu 13.06.2011. Saatavissa: [http://www.telegesis.com/product\\_range\\_overview/etrx3\\_zigbee\\_module.htm](http://www.telegesis.com/product_range_overview/etrx3_zigbee_module.htm).

- [15] Jennic. JN5139 ZigBee-moduulin datasivu. Verkkodokumentti. Päivitetty 13.06.2011. Viitattu 13.06.2011. Saatavissa: [http://www.jennic.com/products/wireless\\_microcontrollers/jn5139](http://www.jennic.com/products/wireless_microcontrollers/jn5139).
- [16] Meshnetics. Meshnetics ZigBit-moduulin datasivu. Verkkodokumentti. Päivitetty 12.06.2011. Viitattu 12.06.2011. Saatavissa: <http://www.meshnetics.com/zigbee-modules/chip-antenna/>.
- [17] Digi International. XBee-moduulin datasivu. Verkkodokumentti. Päivitetty 13.06.2011. Viitattu 13.06.2011. Saatavissa: <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/xbee-zb-module.jsp#specs>.
- [18] Amber wireless. AMBZ420 ZigBee-moduulin datasivu. Verkkodokumentti. Päivitetty 13.06.2011. Viitattu 13.06.2011. Saatavissa: <http://www.amber-wireless.de/291-1-AMBZ420.html>.