

Mika Silvennoinen

**Langattomien sensoriverkkoteknologioiden
soveltaminen älykodissa -Muistisairaahan paikantaminen**

Tietotekniikan
pro gradu -tutkielma
8. joulukuuta 2019

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Kokkolan yliopistokeskus Chydenius

Tekijä: Mika Silvennoinen

Yhteystiedot: mikasi@mbnet.fi

Puhelinnumero: 040-5876200

Ohjaaja: Ismo Hakala

Työn nimi: Langattomien sensoriverkkoteknologioiden soveltaminen älykodissa - Muistisairaahan paikantaminen

Title in English: Applying wireless sensor network technologies to smart house - Locating the elderly suffering from memory loss

Työ: Tietotekniikan pro gradu -tutkielma

Sivumäärä: 80

Tiivistelmä: Työssä esitellään älykotiratkaisuja lähinnä terveydenhuollon näkökulmasta. Lisäksi läpikäydään älykotien langattomaan tiedonsiirtoon liittyviä teknologioita. Empiirisessä osuudessa selvitetään muistisairaahan vanhuksen paikantamisen liittämistä Kokkolan sote-alueella käytössä olevaan älykotisovellukseen. Työn tutkimusongelmana oli selvittää sopiiko pitkän kantaman LoRa teknologia vanhusien paikantamiseen asunnon ulkopuolella. Tutkimus suoritettiin testauksena, jossa testattiin kolme erilaista paikantamislaitetta kahdella erilaisella kävelyreitillä, jotka sijaitsevat Turussa ja Salossa. Näiden kahden paikan lisäksi suoritettiin radiokantaman testaus Liedossa. Laitteista testattiin vaatimuksina ominaisuuksia, kuten kuuluvuus, tarkkuus, akun kesto, laitteen lataus ja kannettavuus. Saatujen tulosten perusteella arvioitiin, täyttivätkö laitteet annetut vaatimukset. Tutkimuksella voitiin osoittaa, että kaksi laitteista täytti annetut vaatimukset. Tämän lisäksi LoRa-verkon avulla tapahtuva paikantaminen toimii hyvin, jos kaupungin tarjoaman LoRa-verkon tukiasemien määrä on riittävän tiheä.

Avainsanat: Langaton Sensoriverkko, WSN, BAN, PAN, älykoti, LoRa, GPS, muistisairaahan paikantaminen, sensoriverkkoteknologioiden soveltaminen

Abstract: Smart home solutions are seen from healthcare perspective. In addition smart home wireless data transfer technologies are discussed. In the empirical part task is to find out, is it possible to integrate the task of locating the elderly suffering from memory loss into the Kokkola Sote-area smart house solution. Research problem was to find out, is LoRa suitable technology to locate the elderly suffering from memory loss outside their home area. The study was carried out as test, where three different locating devices were tested in two different walking routes, one located in Turku and other located in Salo. In addition to these two places, one more radio range test was carried out in Lieto. The tested properties of devices were recei-

ved signal strength, accuracy, battery life, battery charge and easy to carry. The results were assessed and devices were evaluated according to tested properties. The study demonstrated functionality of two devices that fulfilled tested properties. In order to have well functioning LoRa network, where you are able to locate target with LoRa, city needs to have correct amount of LoRa gateways and placement of LoRa gateways needs to be dense enough.

Keywords: Wireless Sensor network, WSN, BAN, PAN, smart home, LoRa, GPS, locating the elderly with memory loss, applying sensor network technologies

Copyright © 2019 Mika Silvennoinen

All rights reserved.

Sanasto

ADL	Activities of daily living
AES	Advanced Encryption Standard
AICO	Ambient Intelligence Compliant Object
BAN	Body Area Network
CSMA\CA	Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance
CSS	Chirp Spread Spectrum
EKG	Elektrokardiogrammi
EMG	Elektromyografia
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GSR	Galvanic Skin Response
IR	Infrared Radiation
ISS	Industrial, scientific and medical radio bands
LPWAN	Low Power Wide Area Network
LR-WPAN	Low-rate wireless personal area network
MAC	Medium Access Control
PAN	Henkilökohtainen verkko (Personal Area Network)
PDA	Personal Digital Assistant
RFID	Radiotaajuinen etätunnistus (Radio Frequency Identification)
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SF	Spreading Factor
UNB	Ultra Narrow Band
WSAN	Wireless Sensor networks and Actuators

Sisältö

Sanasto	i
1 Johdanto	1
2 Langattomat sensoriverkot	3
2.1 Standardin 802.15.4 esittely	5
2.1.1 Standardin 802.15.4 verkkotopologiat	5
2.1.2 Standardin 802.15.4 fyysinen kerros	7
2.1.3 Standardin 802.15.4 siirtoyhteys kerros	8
2.2 Muita lyhyen kantaman langattomia sensoriverkko tekniikoita	9
2.3 Pitkän kantaman langattomat sensoriverkot	10
2.3.1 LoRa	15
2.3.2 Muita LPWAN-teknologioita	19
3 Sensoriverkot älykodin apuna	24
3.1 Älykoti terveydenhuollon tukena	25
3.2 Lyhyen kantaman verkkoihin liittyvät sovellukset	26
3.2.1 Vitaaliarvojen mittaaminen	27
3.2.2 Asukkaan toimintojen tunnistaminen	32
3.2.3 Paikallistaminen sisätiloissa	38
3.2.4 Kaatuminen	42
3.3 Pitkän kantaman verkkoihin liittyvät sovellukset	43
3.3.1 Asukkaan vitaaliarvojen mittaaminen ja tietojen lähettäminen älykodin ulkopuolelta	44
3.3.2 Asukkaan sijainnin paikantaminen älykodin ulkopuolella	45
3.4 Yhteenveto	47
4 Case SmartHome	48
4.1 Tutkimusongelma	51
4.2 Laitteet	51
4.3 Mittauspaikat	52

4.4	Mittauksen toteutus	58
4.5	Tulokset	61
4.6	Laitteiden soveltuvuus rakennuksen ulkopuolelle menneen muisti- sairaalan vanhuksen paikantamiseen	67
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	70
	Lähteet	71

1 Johdanto

Älykoti seuraa ja tarkkailee ympäristössään olevia kohteita, joita voivat olla kodin laitteet tai asukkaat. Älykoti tarkkailee laitteiden tai asukkaiden tiettyjä ominaisuuksia, kuten esimerkiksi kosteus, lämpötila tai asukkaan syke. Älykoti saattaa antaa hälytyksen, jos esimerkiksi jonkin laitteen lämpötila ylittää kriittisen arvon tai asukkaan syke laskee liian alhaiseksi. Älykoti teknologian tarjoamia palveluita voivat olla esimerkiksi lämmönsäätö, turvallisuuden valvonta, savun, kaasun tai vedenvuodon tunnistus, valaistus, ovien lukitseminen tai asukkaan hyvinvoinnin seuraaminen. Viimeisessä tapauksessa älykoti seuraa ja valvoo asukkaan terveyden tilaa.

Älykoti voidaan rakentaa langattomasta sensoriverkosta. Sensoriverkko voi puolestaan rakentua sensorinoodeista ja yhdyskäytävästä. Älykotisovellus muodostuu sensorinoodeista, yhdyskäytävästä, pilvipalvelusta ja käyttöliittymästä. Sensorinoodit havainnoivat ympäristöä ja lähettävät dataa yhdyskäytävälle. Yhdyskäytävä on puolestaan ulospääsytie sisäverkosta ulkopuoliseen verkkomaailmaan eli yhdyskäytävän kautta älykoti kommunikoi ulkomaailman kanssa. Useimmiten data liikkuu sensorinoodeista yhdyskäytävään päin.

Langattoman sensoriverkon tiedonsiirtoteknologian valinta riippuu sovelluksesta. Valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muuassa kantama, tiedonsiirtokapasiteetti, virrankulutus ja topologia. Langattomat sensorinoodit voivat kommunikoida käyttäen joko lyhyen tai pitkän kantaman sensoriverkkoteknologioita. Lyhyen kantaman langattomiin sensoriverkkoteknologioihin kuuluvat esimerkiksi standardi 802.15.4, Bluetooth 5 ja standardi 802.11ah. Vastaavasti pitkän kantaman langattomiin sensoriverkkoteknologioihin kuuluvat muun muuassa LoRa, NB-IoT ja Sigfox.

Kuten aikaisemmin esitettiin, älykodin sovellukset voivat olla hyvin erilaisia. Esimerkiksi terveyden puolella lyhyen kantaman langattomia sensoriverkko sovelluksia voivat olla vitaaliarvojen mittaaminen, asukkaan toimintojen tunnistaminen, paikantaminen sisätiloissa sekä kaatuminen. Vastaavia pitkän kantaman langattomia sensoriverkko sovelluksia voivat olla vitaaliarvojen mittaaminen älykodin ulkopuolelta sekä asukkaan paikantaminen älykodin ulkopuolelta. Asunnon sisällä tarvittavat terveydenhuollon toteutukset voidaan toteuttaa lyhyen kantaman lan-

gattomilla sensoriverkkoteknologioilla. Kun asukas lähtee asunnosta ulos, tarvitaan pitkän kantaman langattomia sensoriverkkoteknologioita.

Tämän työn tarkoituksena on laajentaa Kokkolassa käytössä olevaa älykotiratkaisua, joka tehtiin yhteistyössä kotihoidon kanssa ja jossa toteutettiin älykotiratkaisu muistisairaiden aktiivisuuden seurantaan, lisäämällä siihen mahdollisuus paikantaa asunnosta ulos lähteviä ikäihmisiä. Sairaanhoidajat ja lähihoitajat ovat paikalla tiettyinä aikoina, mutta eivät yöllä. Suurin pelko on, että ikäihminen lähtee ulos asunnosta ja rakennuksesta eikä enää löydy takaisin. Ikäihmisen seurannalla voidaan myös välttää hoivakotiin siirtäminen liian aikaisin.

Työn tutkimusongelma on selvittää sopiiko pitkän kantaman langaton sensoriverkkoteknologia LoRa, vanhusten paikantamiseen asunnon ulkopuolella. Tämän selvittämiseksi testataan kolme erilaista paikantamislaitetta kahdella erilaisella kävelyreitillä, jotka sijaitsevat Turussa ja Salossa. Paikantamislaitteet saavat sijainnin GPS-mittauksella ja lähettävät tiedon eteenpäin LoRan avulla. Mittauksista saadaan selville sijainnit ja näiden perusteella voidaan selvittää niiden virheet tarakoista paikoista. Tiedon siirron luotettavuutta testataan, tarkistamalla radion signaalien voimakkuudet tukiasemien lokeista. Suurin etäisyys, joka on vielä kuuluvissa tukiasemalla, vaikuttaa myös siihen, kuinka tiheä tukiasemaverkosto tarvitaan, jotta vanhus voitaisiin paikantaa erilaisissa paikoissa riittävän luotettavasti. Tämän lisäksi tutkitaan laitteiden yleistä soveltuvuutta käyttötarkoitukseen selvittämällä laitteiden lataus- ja toiminta-aikoja.

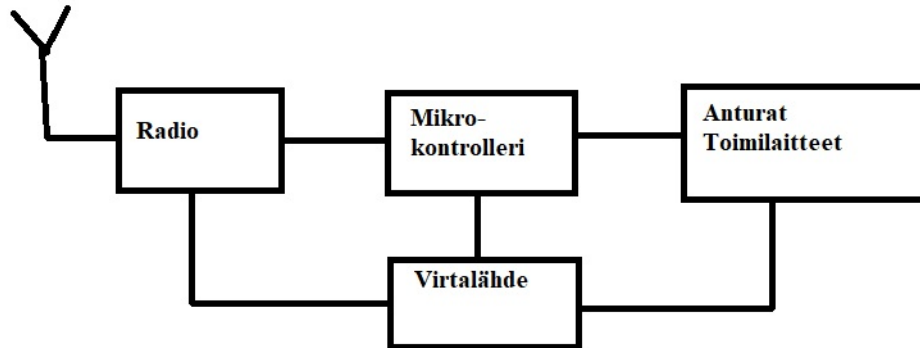
Työ etenee siten, että luvun 2 alussa käydään läpi yleisellä tasolla langattomat sensoriverkot. Tämän jälkeen esitellään 802.15.4 standardi. Standardin esittelyn jälkeen käydään aluksi läpi muita lyhyen kantaman langattomia sensoriverkko tekniikoita ja siirrytään tämän jälkeen käsittelemään pitkän kantaman langattomia sensoriverkko tekniikoita. Luvun 3 alussa käydään läpi sensoriverkkoja terveydenhuollon tukena. Tämän jälkeen siirrytään käsittelemään lyhyen kantaman verkkoihin liittyviä terveydenhuollon sovelluksia. Kun nämä on käsitelty, siirrytään lopuksi esittelemään pitkän kantaman verkkoihin liittyviä terveydenhuollon sovelluksia. Luvussa 4 käsitellään Kokkolan älykodin taustoja. Tämän jälkeen siirrytään pitkän matkan paikannuksessa tarvittavien laitteiden testaukseen. Aluksi käydään läpi laitteet ja sen jälkeen esitellään testauksessa käytetyt mittauspaikat ja mittauksen toteutus. Viimeiseksi esitellään tulokset ja laitteiden soveltuvuus muistisairaiden vanhusten paikantamiseen. Viimeisessä luvussa 5 esitellään koko työn lähtökohta, yhteenvedo, johtopäätökset sekä jatkotutkimus.

2 Langattomat sensoriverkot

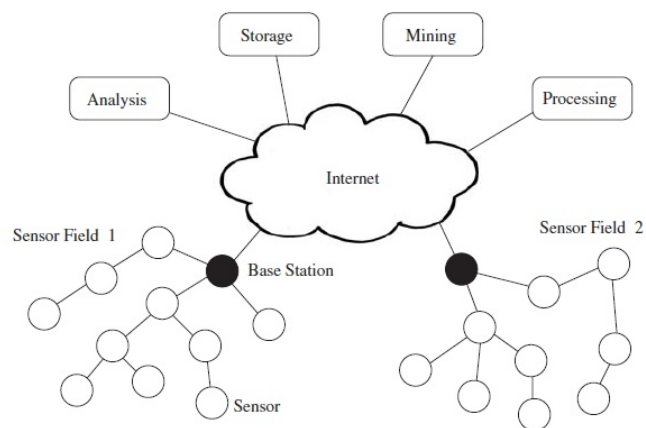
Luvussa kaksi tarkastellaan langattomia sensoriverkkoja. Sensoriverkko muodostuu tyypillisesti sensorinooodeista sekä yhdyskäytävästä. Sensoriverkko voi mitata jotain tiettyä muuttujaa, kuten esimerkiksi lämpötilaa, jonka sensorinoodit lähettävät yhdyskäytävälle ja yhdyskäytävä saattaa lähettää tiedon esimerkiksi pilvipalveluun. Useimmiten data liikkuu sensorinooodeista yhdyskäytävään päin. Langattoman sensoriverkon tiedonsiirtoteknologian valinta riippuu sovelluksesta. Valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa kantama, tiedonsiirtokapasiteetti, virrankulutus ja topologia.

Sensorinoodit ovat yleensä paristokäyttöisiä, joten virransäästäminen on yksi tärkeimmistä prioriteeteista. Eniten virtaa kuluttavat radiolähetykset. Tämän takia teknologia, joka pystyy lähettämään datan mahdollisimman pienellä virrankulutuksella, on yleensä etulyöntiasemassa. Sensoriverkossa sensorinoodit menevät tyypillisesti nukkumaan säästäkseen virtaa ja heräävät tietyn ajan jälkeen. Toinen tärkeä tekijä on kantama. Kantama vaikuttaa siihen, kuinka suuren alueen sovellus voi kattaa. Lyhyen kantaman langattomat sensoriverkot korvaavat pitkän kantaman puutteen käyttämällä monihyppy tekniikkaa, jolloin osa noodeista toimii viestien välittäjinä. Kolmas tärkeä tekijä on topologia. Topologia vaikuttaa siihen kuinka viestien välitys tapahtuu verkossa. Esimerkiksi tähtitopologiassa kaikki viestintä tapahtuu yhden tukiaseman kautta. Vertaisverkko topologiassa viestintä pystyy kulkemaan myös muiden solmupisteiden kuin tukiaseman kautta. Sensorinoodit sisältävät myös järjestelmäkellot. Joissakin sovelluksissa on hyvin tärkeätä, että noodit ovat hyvin ajastettuja ja ajan synkronointi toimii. Sensorinooodeissa on myös mikrokontrolleri sekä langaton radiolähetin-vastaanotin. Alla olevassa kuvassa 2.1 on lähde mukailleen [85] esitetty kuva sensorinoodin laitteistosta. Langaton sensoriverkko voi muodostua useasta verkosta, jotka ovat yhdyskäytävän tai tukiaseman avulla yhteydessä ulkoiseen verkkoon (Kuva 2.2). Lisäämällä sensorinoodien määrää voidaan muodostaa useampia reittejä, jota pitkin data kulkee

Langattomat sensorinoodit voivat kommunikoida eri teknologioiden avulla kuten Wi-Fi (802.11), GPRS/GSM, Bluetooth (802.15.1), ZigBee (802.15.4), LoRa ja jne. Nämä eri teknologiat eroavat toisistaan esimerkiksi virrankäytön, lähetyskäytävien



Kuva 2.1: Kuva sensorinoodin laitteistosta, joka muodostuu virtalähteestä, radiolähetin-vastaanottimesta, mikrokontrollerista sekä antureista että toimilaitteista [85]



Kuva 2.2: Langaton sensoriverkko [17]

den ja tiedonsiirtokapasiteetin osalta.

2.1 Standardin 802.15.4 esittely

Vuonna 2003 määriteltiin tekninen standardi IEEE 802.15.4, joka määrittelee matalan lähetystehon langattomat henkilökohtaiset verkot eli LR-WPAN:in (Low Rate Wireless Personal Area Networks). Joulukuussa 2000 IEEE:n uusien standardien komitea NesCom aloitti LR-WPAN:in eli standardin 802.15.4 kehittämisen. Vuonna 2006 standardista 802.15.4 tuli ensimmäinen uusi versio, johon oli lisätty taajuusalueisiin 868/915 MHz uudet tiedonsiirtonopeudet 100 ja 250 kbit/s. Tämän jälkeen vuonna 2011 tuli vielä toinen versio, jossa ei ollut teknisiä muutoksia, vaan enemmän korjauksia aikaisempiin yksityiskohtiin [34]. Standardin 802.15.4 tavoitteita ovat verkon helpompi käyttöönotto, pienempi kantama, halvempi valmistaminen, pienempi tiedonsiirtomäärä sekä matalampi virrankulutus [27]. Tavoitteena on, että paristo kestää kuukausista vuosiin. Sensoriverkot eivät tarvitse suuren datamäärän siirtoa, vaan niille riittää pienemmän datamäärän siirto. Standardi 802.15.4 käyttää lisensoimatonta taajuuskaistaa. Kantama saattaa vaihdella kymmenestä metrillä sataan. Tapoja, joilla saadaan energian kulutus pienemmäksi, ovat:

- lähetettävän datamäärän pienentäminen
- lähetysaikojen ja lähetysmäärien pienentäminen
- kehyksen rakenteen pienentäminen
- virransäästötilojen käyttö

Standardin 802.15.4 kantama sisätiloissa on 1-30 metriä [26]. Ulkotiloissa standardilla päästään sataan metriin [26]. Kantamaan vaikuttavat radion vastaanottimen herkkyys sekä lähetysteho. Suurin sallittu lähetysteho vaihtelee eri maissa. Alla olevassa taulukossa 2.1 on esitetty lähdeä [34] mukaillen 802.15.4 standardin uudelleenjulkaisun 2011 piirteitä.

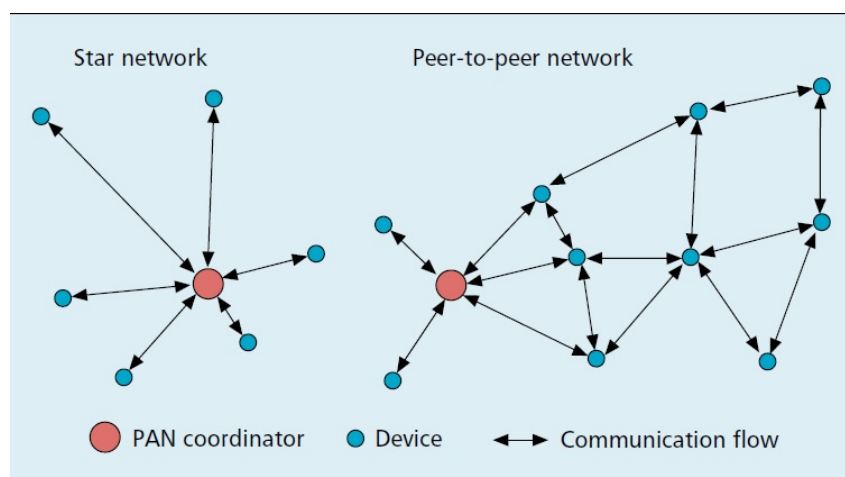
2.1.1 Standardin 802.15.4 verkkotopologiat

Standardi 802.15.4 tukee kahta verkkotopologiaa: tähti- ja vertaisverkkotopologiaa (Kuva 2.3) [12]. Käytettävä sovellus vaikuttaa topologian valintaan. Kantomatta voi vaihdella eri sovelluksissa aina kymmenestä reiluun sataan metriin. Jos so-

Taulukko 2.1: Yhteenveto standardin 802.15.4 piirteistä [34].

Taajuuskaista (MHz)	Modulaatio	Tiedonsiirto (kb/s)
868-868.6	BPSK	20
902-928	BPSK	40
868-868.6	ASK	250
902-928	ASK	250
868-868.6	O-QPSK	100
902-928	O-QPSK	250
2450 DSSS	O-QPSK	250

vellus toimii esimerkiksi huoneessa, voidaan valita tähtitopologia, kun taas maanviljelysovellus saattaa tarvita vertaisverkkotopologian. Tähtitopologiaa on helpompi kontrolloida ja energian kulutus on tyypillisesti pienempi kuin vertaisverkkotopologiassa. Molemmissa verkkotopologioissa verkon sisältä valitaan nk. PAN-koordinaattori. Jokaiseen pakettiin kuuluu erillinen 16-bittinen PAN-tunniste, joka kertoo mihin PAN-verkkoon paketti on matkalla. Standardi 802.15.4 määrittelee kaksi erityyppistä laitetta: Täydellisesti toimivat laitteet eli FFD (Fully Functional Devices) sekä rajatun toiminnan laitteet eli RFD (Reduced Function Devices). Esimerkiksi tähtitopologian keskipisteenä oleva punainen PAN-koordinaattori on FFD-laite ja solmun päätepisteinä olevat siniset laitteet ovat RFD-laitteita.

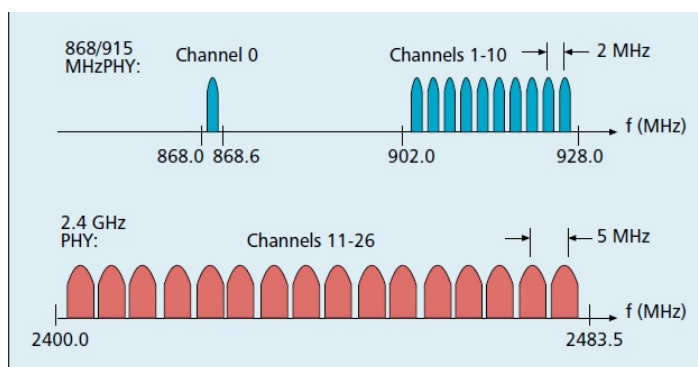


Kuva 2.3: Tähti- ja vertaisverkkotopologiat [12]

Standardi 802.15.4 keskittyy OSI kerroksen kahteen alimpaaseen tasoon eli fyysiseen ja siirtoyhteyskerrokseen.

2.1.2 Standardin 802.15.4 fyysinen kerros

IEEE standardi operoi kolmella eri taajuusalueella, joihin ei tarvita lisenssiä. Euroopassa on käytetty taajuusalueita 868–868,8 MHz kun taas Yhdysvalloissa on käytössä 902–928 MHz. Näiden lisäksi käytössä on vielä taajuusalue 2400–2483,5 MHz. IEEE 802.15.4 määrittelee 26 erilaista kanavaa. Kanava 0 on määritelty vain Euroopassa ja sijaitsee 868 MHz:n alueella. Kanavat 1–10 on määritelty Yhdysvalloissa ja ne sijaitsevat 902–928 MHz:n alueella. Kanavien väli on 2 MHz. Kanavat 11–26 on määritelty 2,4 GHz:n alueella, joten ne ovat käytettävissä kaikkialla. Näiden kanavien kanavaväli on 5 MHz (Kuva 2.4).



Kuva 2.4: IEEE 802.15.4 standardin kanava rakenne [12]

IEEE 802.15.4 standardi käyttää erilaista modulointitapaa riippuen käytettävästä kanavasta. 802.15.4 standardin uudelleenjulkaisu 2006 lisäsi kanavasivut. Alla on esitetty lähde [34] mukailleen standardin 802.15.4 käyttämät kanavasivut 0-2, kanavat, taajuusalueet ja modulaatiot (Taulukko 2.2). Kun kanavasivu on nolla, niin kanavat 0-10 käyttävät BPSK-modulointitapaa (Binary phase-shift keying), kun taas kanavat 11-26 käyttävät QPSK-modulointitapaa (Quadrature phase-shift keying). Kun kanavasivu on yksi, niin kanavat 0-10 käyttävät ASK-modulointitapaa (Amplitude Shift Keying). Kun kanavasivu on kaksi, niin kanavat 0-10 käyttävät QPSK-modulointitapaa. Standardin 802.15.4 radiokanavat 2,4 GHz:n alueella menevät osittain päällekkäin 802.11 (Wifi) samalla taajuusalueella käyttämien kanavien kanssa. Koska 802.11 käyttämä lähetysteho on voimakkaampi kuin 802.15.4:n, niin 802.11 saattaa aiheuttaa häiriötä 802.15.4 liikenteeseen. Standardi määrittelee radion

Taulukko 2.2: Standardin 802.15.4 käyttämät kanavasivut, kanavat, taajuusalueet ja modulaatiot [34].

Kanavan sivu	Kanavat	Taajuusalue	Modulaatio
0	0	868 MHz	BPSK
0	1-10	915 MHz	BPSK
0	11-26	2.4 GHz	O-BPSK
1	0	868 MHz	ASK
1	1-10	915 MHz	ASK
1	11-26	-	Varattu
2	0	868 MHz	O-BPSK
2	1-10	915 MHz	O-BPSK
2	11-26	-	Varattu

minimilähetystehoksi -3 dBm [26]. Ylärajan lähetysteho on maakohtainen. Esimerkiksi Yhdysvalloissa voidaan käyttää 1 W tehoa, kun taas Euroopassa on käytössä 100 mW. Standardi ottaa myös kantaa radiovastaanottimen herkkyyteen ja spesifioi, että signaalin voimakkuuden ollessa -85 dBm, vastaanottimen pitää pystyä tulkitsemaan signaali oikein.

2.1.3 Standardin 802.15.4 siirtoyhteys kerros

MAC-kerros (Medium Access Control) muodostaa yhdessä LLC-kerroksen (Logical Link Control) kanssa toisen kerroksen eli siirtoyhteys kerroksen. MAC-kerros tarjoaa pääsyvalvonnan jaetulle kanavalle sekä luotettavan tiedonsiirron. Standardi 802.15.4 [34] käyttää kanavalle pääsy menetelminä ALOHAA ja CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance) algoritmia, joka perustuu kanavan kuunteluun, ennen datan lähettämistä. MAC-kerroksen tehtäviin kuuluu tunnistekehyksien generoiminen, noodin verkkoon liittyminen eli assosiointi ja verkosta eroaminen eli dissosiaation hoitaminen. Näiden lisäksi MAC-kerroksen tehtäviin kuuluu tietoturvan kontrollointi, majakka eli beacon-kehyksien generointi sekä esimerkiksi tähtitopologiassa käytettävän GTS:n (Guaranteed Time Slot) hoitaminen. Standardin 802.15.4 tavoitteena oli suunnitella yksinkertaisempi MAC-protokolla. Tällä on pyritty nopeuttamaan sovellusten suunnittelua ja tehostamaan virrankulutusta. Kuten edellä tuli mainittua standardi 802.15.4 tukee kahta verk-

kotologiaa tähti- ja vertaisverkkotologiaa. Tähtitopologiassa on käytössä yksi PAN-koordinaattori. Tähtitopologiassa PAN-koordinaattori lähettää beacon-kehyksiä. Beacon-kehysten avulla laitteet pystyvät synkronoimaan oman lähetyksensä PAN-koordinaattorin kanssa. Tähtitopologiassa kaikki kommunikointi tapahtuu PAN-koordinaattorin kautta. Vain FFD-laite voi toimia PAN-koordinaattorina. Jokainen PAN-koordinaattori tarvitsee yksilöllisen PAN-ID tunnuksen. Ennen PAN-ID valintaa, PAN-koordinaattori skannaa kanavia läpi löytääkseen eriävän PAN-ID tunnuksen. PAN-ID tunnuksen valinnan jälkeen, PAN-koordinaattori voi alkaa lähettää beacon-kehyksiä sekä päättää mitkä laitteet voivat assosioitua verkkoon. Tähtitopologia voi toimia myös ilman beacon-kehyksiä. Tällöin laitteet lähettävät säännöllisin väliajoin pollaus viestejä PAN-koordinaattorille. Vertaisverkossa FFD-laitteet voivat toimia PAN-koordinaattorina ja ohjata paketteja oman kantaman sisällä sekä välittää paketteja toiseen verkkoon.

2.2 Muita lyhyen kantaman langattomia sensoriverkko tekniikoi- ta

Muista lyhyen kantaman langattomista verkoista esitellään Bluetooth 5 ja tämän jälkeen esitellään standardi 802.11ah. Bluetooth 5 standardi esiteltiin vuonna 2016. Bluetooth 5 pystyy 2 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen. Signaalin kantavuus ulkotiloissa ylittää 200 metriin ja vastaavasti sisätiloissa 40 metriin [16]. Bluetooth käyttää taajuusaluetta 2400-2483.5. Lähetystekniikkana Bluetooth 5.0 käyttää FHSS-menetelmää (Frequency-hopping spread spectrum). Bluetooth 5 tiedonsiirtonopeus on 2 Mb/s. Bluetooth 5 majakkaviestit eivät tarvitse pariutumista laitteen kanssa. Myös viestin pituus on kasvatettu aikaisemmasta 31 tavusta 255 tavuun Bluetooth 5:ssä. Tämä mahdollistaa tavalliset sekä firmware päivitykset. Bluetooth 5 kuluttaa kaksi kertaa vähemmän energiaa kuin aikaisempi versio. Tämä on saatu aikaiseksi signaalin paremmalla moduloinnilla ja taajuusalueen hyväksikäytöllä. Bluetooth 5:ssä on saatu otettua käyttöön vertaisverkko topologia [16]. Aikaisemmin käytössä oli tähti perustainen verkkotopologia, joka aiheutti omia rajoituksia [2]. Vertaisverkko topologian avulla saadaan tutkittava alue katettua helpommin.

Standardi 802.11ah julkaistiin vuonna 2017. Tällä standardilla on myös kutsumanimi Wi-Fi HaLow. Standardi käyttää lisensoimatonta 902–928 MHz:n taajuusaluetta Yhdysvalloissa sekä 863–868 MHz:n taajuusaluetta Euroopassa. Signaalin kantavuus ylittää yhteen kilometriin. Kantavuus perustuu seuraaviin parannuksiin, joilla

on pyritty kasvattamaan linkkibudjetin arvoa [55]. Ensimmäiseksi taajuusalue 2,4 MHz on vaihdettu alle 1 GHz:n ja näin signaalin läpäisykykyä on parannettu. Toiseksi standardiin 802.11n verrattuna standardi 802.11ah toimii kapeammalla kanavan kaistanleveydellä. Yhdysvalloissa valittavissa on viisi erilaista kanavan kaistanleveyttä 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz sekä 16 MHz. Vastaavasti Euroopassa on käytettävissä kanavan kaistanleveydet 1 MHz ja 2 MHz. Lähetystekniikkana standardi 802.11ah käyttää OFDM-tekniikkaa (Orthogonal frequency-division multiplexing) [37]. Modulointi tapana käytössä ovat BPSK, QPSK ja 16:sta aina 256-QAM asti. Datan tiedonsiirtonopeudet vaihtelevat aina nopeudesta 150 kb/s nopeuteen 347 Mb/s asti. Standardi 802.11ah kuluttaa vähemmän energiaa. Tämä on saatu aikaiseksi kasvattamalla nukkumisaikaa. Aikaisemmin liian suuri nukkumisaika aiheutti sensorinoodin tipahtamisen pois verkosta, koska jos tukiasema ei saanut tietyllä ajalla viestiä, niin se poisti sensorinoodin verkostaan. Nyt tätä verkosaoloaikaa on kasvatettu, jolloin sensorinoodi voi nukkua pitempään [55]. Standardi 802.11ah käyttää yhden hypyn verkkotopologiaa [2]. Suuri parannus on aikaisempaa suurempi sensorinoodien lisäys tukiasemaan. Nyt on mahdollista maksimissaan lisätä 8192 sensorinoodia yhteen tukiasemaan ($2^{13} - 1$). Luku 13 tulee siitä, että jokaiselle sensorinoodille voidaan liittää yksikäsitteinen 13-bittinen AID-tunniste (association identifier). Myös törmäysten määrää on haluttu vähentää 802.11ah standardissa. Tätä varten on kehitetty RAW (Restricted Access Window) [37]. RAW jaottelee sensorinoodit luokkiin ja antaa pääsyoikeuden mediaan tietyllä hetkellä aina tietylle ryhmälle.

Taulukkoon 2.3 on esitetty lähdetä [16] mukaillen tietoja Bluetooth 5, IEEE 802.15.4 - ZigBee ja IEEE 802.11ah -HaLow teknologioista. Näistä tekniikoista voidaan huomata, että pisin kantama saavutetaan standardilla 802.11ah. Standardi 802.11ah toimii paremmin kanavalle pääsyn kanssa, kun asemia on useita [4]. Standardin 802.15.4 CSMA/CA-perustaiselle MAC:ille alkaa tulla kanava-yhteys ongelmia törmäyksistä johtuen, kun tuhannet asemat yrittävät päästä kanavalle[4].

2.3 Pitkän kantaman langattomat sensoriverkot

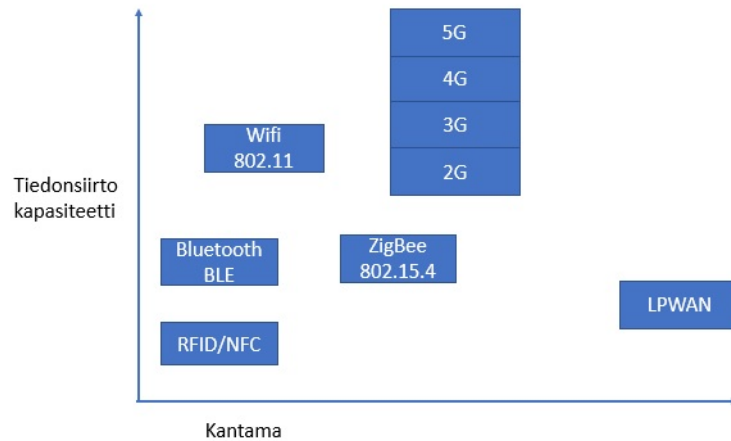
LPWAN-teknologia (Long Power Wide Area Network) sopii hyvin sovelluksille, joissa pyritään siirtämään pienempää datamäärää pitemmän matkaa sekä tavoittelemaan pitempää patterien kestoa. Teollisuuden minimitaloite on saada patterit kestämään minimissään kymmenen vuotta ja samalla moduulin kustannus pyritään

Taulukko 2.3: Langattomien standardien vertailu Bluetooth versioon 5 [16].

Piirre	Bluetooth 5	IEEE802.15.4 (868 MHz)	IEEE802.15.4 (2.4 GHz)	IEEE 802.11ah - HaLow
Radiotaajuus (MHz)	2400-2483,5	868	2400	863-868,6 [33]
Kantama (m)	200	Satoja metre- jä	150	1000
Medialle pääsytek- niikka	FHSS	CSMA/CA [62]	CSMA/CA tai ALOHA [62]	RAW[33]
Verkon topo- logia	tähti [2] tai vertaisverk- ko [16]	tähti tai ver- taisverkko [34]	tähti tai ver- taisverkko [34]	tähti[2]
Tiedonsiirto- kapasiteetti	2 Mb/s [16]	250 kb/s [62]	1 Mb/s [62]	150 kb/s - 347 Mb/s [55]

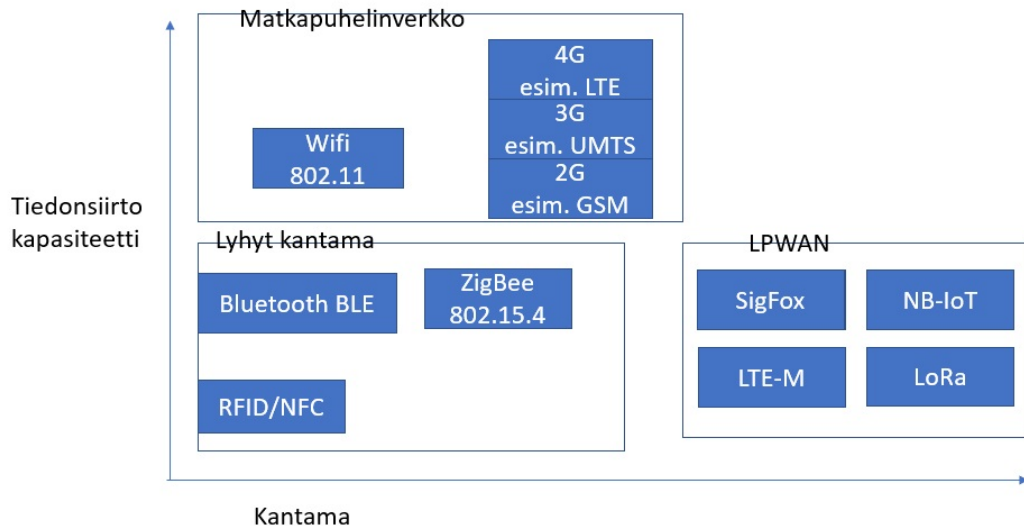
saamaan alle viiden dollarin [53]. LPWAN-teknologioiden erikoispiirteitä ovat pitkä kantama, pienen datamäärän lähetys ja vähäinen energian kulutus. On kaksi pääkategoriaa, johon LPWAN-teknologiat sopivat erikoisen hyvin [41]. Näistä ensimmäinen on tapaukset, joissa pitkän ja keskimatkan puhelinverkkosovellukset voidaan korvata LPWAN-teknologioilla. Näitä sovelluksia voivat olla esimerkiksi älyvalaistus tai materiaalin paikallistaminen. Toisena tapauksena ovat pitkäikäiset paristokäyttöiset sovellukset, joissa tarvitaan hyvää energiansäästö kykyä. Näitä ovat esimerkiksi veden mittaus, kaasun tunnistus ja älykäs maanviljely. Alla olevassa kuvassa 2.5 on havainnollistettu lähdeä [41] mukaillen LPWAN-teknologian sijoitumista muiden teknologioiden kanssa. Huomaa, kuinka LPWAN:in kantama on pitempi kuin aikaisemmin esitelty 802.15.4 standardin kantama. LPWAN:in liikenne voidaan jakaa uplink- ja downlink-viestintään. Kun solmuilla tai noodeilla on tarve lähettää dataa palvelimelle, puhutaan uplink-viestinnästä. Kun taas viestintä tapahtuu palvelimelta noodeille, puhutaan downlink-viestinnästä.

Kuvassa 2.6 on lähdeä [77] mukaillen aukaistu aikaisemmin esillä oleva LPWAN-laatikko ja voidaan huomata, että LPWAN-teknologioihin kuuluvat esimerkiksi Sigfox, NB-IoT ja LoRa. LPWAN-teknologiat käyttävät kahdenlaista modulaatiotek-



Kuva 2.5: LPWAN-tekniikan sijoittuminen [41]

niikkaa, joita ovat kapea kaistanleveys (Ultra narrow band) ja hajaspektri (Spread spectrum). Hyvin kapeaa kaistanleveyttä käyttävä tekniikka saavuttaa hyvän linkkibudjetin arvon. Koska taajuutta ei levitetä isolle alueelle, niin tämä yksinkertaistaa vastaanottolähteen suunnittelua.



Kuva 2.6: LPWAN-tekniikoihin kuuluvat Sigfox, NB-IoT, LTE-M ja LoRa. [77]

LPWAN-tekniikoilla tavoitellaan parempaa alueen kattavuutta sekä signaalin etenemistä vaikeasti saavutettaviin alueisiin. Vanhoihin järjestelmiin verrattuna on tavoiteltu +20 dBm vahvistusta [61]. Saavuuttaakseen pitkän kantaman LPWAN-

teknologiat hyödyntävät erilaisia tekniikoita. Ensimmäinen tapa saada signaali kantamaan kauemmaksi, on kiinnittää huomiota käytettävään taajuuteen. Monet LPWAN-teknologiat käyttävät hyväkseen alle 1 GHz:n taajuuskaistaa (Sub-1GHz) [61]. Toisin tästäkin löytyy poikkeuksia, esimerkiksi Ingenu ja Weightless-G [61]. Pienemmän taajuuden käyttö signaaleissa, vähentää signaalin heikkenemistä sekä monipolun heijastumia. Toisaalta alle 1 GHz:n taajuuskaistalle ei ole niin paljon ruuhkaa kuin 2,4 GHz:n taajuuskaistalla. Kuvasta 2.5 voidaan huomata, että sovellukset, jotka tarvitsevat pitkää kantamaa pienemmällä kaistanleveydellä, ei saada kateeksi aikaisemmilla teknologioilla. Myös verkkotopologioissa saattaa olla eroja eri teknologioiden välillä. Esimerkiksi ZigBee käyttää vertaisverkko topologiaa, jossa kaikki solmut ovat yhteydessä toisiinsa. Tähän on osasyynä pieni linkkibudjetin arvo sekä lähettimen matala herkkyys. ZigBee 2.4 GHz lähettimien kantomatka menee noin 150 metriin. Pieni linkkibudjetin arvo tarkoittaa, että lähettimen signaalin teho kuluu matkalla nopeasti. Matala herkkyys tarkoittaa puolestaan, että heikkoa signaalia ei pystytä tunnistamaan vastaanottopäässä. LPWAN-teknologiat taas käyttävät hyväkseen tähtitopologiaa, jossa päätepisteet on yhdistetty yhdyskäytävään. Edellä tuli mainittua linkkibudjetti. Jotta saataisiin pitkä kantama aikaiseksi, tarvitaan suurta linkkibudjetin arvoa. Tämä on toinen tapa, jolla saadaan signaali etenemään kauemmaksi [61]. LPWAN-teknologiat operoivat alueella, jossa tarvitaan yleensä 140-160 dB:n linkkibudjetin arvoja [41]. Tämä saavutetaan herkemällä vastaanottimen arvolla. LPWAN-teknologioissa -130 dBm herkkyydet ovat tavallisia. Muut vastaavat teknologiat käyttävät hyväkseen -90:stä -110:een dBm:ää. Shannon-Hartleyn teoreemaa mukailien eli vähentämällä lähetysmäärää, saadaan kasvatettua signaalin lähettämiseen tarvittavaa energiaa. Tämä on esimerkiksi nähtävissä SigFox teknologiassa, jossa lähetysnopeus on 300 bps.

LPWAN-teknologioiden tavoitteena on ollut paristojen mahdollisimman pitkä käyttöikä. Noin kymmenen vuoden käyttöikä paristojen avulla on haluttu tavoite. Ensimmäinen tapa saada aikaan energian säästöä on verkon topologia [61]. LPWAN-teknologian pidempi kantama ja suora yhteys yhdyskäytävään tarkoittaa sitä, että ei ole välisolmuja, joiden energiataso laskisi, jos ne joutuisivat reitittämään muiden solmujen liikennettä. Toinen tapa vaikuttaa virrankulutukseen ovat erilaiset duty cycle-mekanismit [61]. Nämä mekanismit kääntävät paljon virtaa kuluttavat komponentit pois päältä, kun niitä ei tarvita. Esimerkki tällaisesta komponentista on radiolähetin. Kun noodien tarvitsee lähettää dataa, niin ne heräävät vähäksi aikaa ja lähettävät datan uplink-yhteyttä käyttäen. Jos noodeilla on tarvetta vastaanottaa

dataa, niin tämä tapahtuu downlink-yhteyden kautta. Tällöin voi olla, että noodi lähetettyään datan, kuuntelee downlink-yhteyttä jonkin aikaa, ottaakseen selville onko sille tulossa dataa palvelin puolelta. Toinen tapa lähettää ja vastaanottaa dataa, on sopia aikataulutusta, jota noudatetaan viestiliikenteessä [61]. Eri teknologiat saattavat määrittellä erilaisia virrankulutuksen luokkia laitteille. Tästä esimerkkinä toimii LORAWAN-teknologia, jossa laitteet on jaettu kolmeen erilaiseen luokkaan. Myös LPWAN-teknologioiden radioliikenteen viestittämismäärissä on rajoituksia, joten radioliikenteen hiljentäminen on hyödyllistä muissakin tapauksissa kuin energian säästämiseksi. Kolmas tapa säästää energiaa on suunnitella tai käyttää kevyitä MAC-protokollia [61]. Yleisin WLAN-verkoissa käytössä oleva mekanismi on CSMA/CA. Tämä menetelmä on liian raskas LPWAN:ille ja siksi osa LPWAN-teknologioista käyttää ALOHA-menetelmää. Esimerkkejä ALOHAA käyttävistä teknologioista ovat SIGFOX ja LoRa. Jotkin LPWAN-teknologiat käyttävät puolestaan TDMA:ta. Näitä ovat esimerkiksi Ingenu ja NB-IoT. Neljäs tapa säästää energiaa on vähentää noodien kompleksisuutta ja siirtää monimutkaisemmat tehtävät tukiasemalle [61]. Esimerkiksi tukiasema voi kuunnella useampaa kanavaa ja noodi voi lähettää datan menemään eri kanavia käyttäen. Rakentamalla älykkäämpiä taustajärjestelmiä, jotka voivat auttaa noodeja paremmin optimoimaan viestintäliikenteen. Tästä esimerkkinä on LORAWAN-teknologia, jossa noodin etäisyyden kasvaessa tukiasemasta, voidaan vaihtaa SF-parametria ja tällä tavalla vaikuttaa siirrettävän tiedon määrään. On myös pohdittu, olisiko syytä tehdä jonkinlaista tiedon prosessointia noodissa, ennen datan eteenpäin lähettämistä [61]. Tiedon prosessointi päätelaitteissa saattaa vähentää lähetettävän tiedon määrää, mutta vaadittava tiedon prosessoinnin toteuttaminen päätelaitteissa saattaa tehdä siitä kalliimman [61]. Mutta toisaalta jos kalliimpi laite johtaa vähempään tiedonsiirtoon määrään ja joka puolestaan aiheuttaa sen, että patterit kestävät pidempään, niin myös kalliimmastakin noodista on etua.

Koska noodien määrä voi olla valtava, pitää yksittäisen laitteen hintaa saada hinnattua alaspäin. Tällä hetkellä laitteen tavoitehinta on alle viisi dollaria ja yhteyden ylläpitäminen alle yhden dollarin [61]. Hintaa saadaan painettua alaspäin käyttämällä tähtiverkkoa vertaisverkon sijasta, käyttämällä yksinkertaisempia MAC-protokollia sekä siirtämällä vaikeammat prosessit laitteilta tukiasemalle [61]. Näiden lisäksi hintaa voidaan painaa alaspäin tekemällä laitteista vähemmän kompleksisia [61]. Ensimmäiseksi radion vastaanottimen ei tarvitse tunnistaa kaikkea mahdollista signaalista, joten vastaanotinta voidaan yksinkertaistaa. Toiseksi verkon infra-

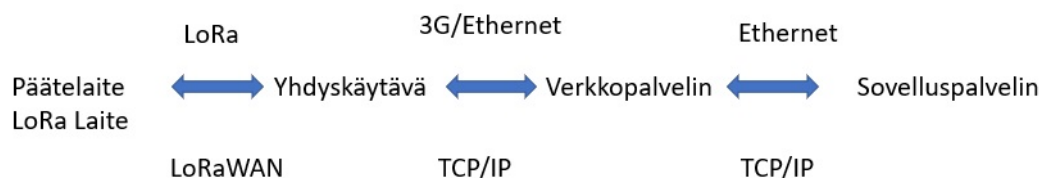
struktuuria voidaan keventää [61]. Suuren taajuuden langattomat verkot tarvitsevat tiheätä verkkoa, joka maksaa laitehankintoina. LPWAN-teknologian käyttöönotolla yksi tukiasema pystyy hoitamaan useamman noodin liikenteen. Kolmanneksi hintaa saadaan painettua alaspäin, kun ei tarvitse maksaa lisenssimaksuja radiotaajuuden käytöstä [61]. Näin on mahdollista käyttää ilmaisia radiotaajuuksia tai sitten puhelinoperaattoreilla on puolestaan mahdollisuus käyttää jo olemassa olevia radiotaajuuksia. Esimerkiksi NB-IoT teknologia pystyy käyttämään puhelinoperaattorin vanhoja olemassa olevia radiotaajuuksia.

LPWAN-teknologioiden skaalautuvuutta voidaan parantaa käyttämällä erilaisia tekniikoita. Näistä esimerkkinä on monen kanavan ja antennin käyttö tukiasemassa [61]. Toisena keinona on tihentää tukiasemaverkoston [61]. Kolmanneksi skaalautuvuutta voidaan parantaa paremmalla kanavan ja tiedonsiirron valinnalla [61]. LPWAN-teknologioiden luotettavuutta parantaa se, että noodit voivat yrittää lähettää saman datan eri tukiasemiin. Jolloin tiedon liikkuvuus ei ole kiinni yhdestä yhteyskäytävästä, kuten on laita vanhemmissa teknologioissa.

2.3.1 LoRa

LoRa kuuluu LPWAN-verkkoihin eli matalatehoisiin pitkän matkan verkkoihin. LoRa toimii alle 1 GHz taajuuskaistalla. LoRan fyysinen kerros on yksityinen ja josta ei ole avointa dokumenttia. Sen sijaan siirtoyhteyskerrosta hoitava LoRaWAN protokolla on avoin. LoRa käyttää hajaspektri (CSS) radiointimodulaatiotekniikkaa. Hajaspektitekniikassa signaali pyritään levittämään laajemmalle taajuuskaistalle kuin mitä signaalinsiirto vaatisi. Hajaspektritekniikka tekee signaalista häiriösietoisemman. LoRa on nykyisin Semtechin omistuksessa (Alunperin LoRaa kehitti ranskalainen firma nimeltä Cycleo, jonka Semtech osti). LoRa tukee useita SF (Spreading Factor) arvoja välillä 7-12. Mitä suurempi SF-arvo, sitä kauemmaksi signaali kantaa. Tosin mitä suurempaa SF-arvoa käytetään, sitä vähemmän saadaan siirrettyä dataa. LoRan payloadin eli hyötykuorman koko vaihtelee välillä 51–222 tavua riippuen käytettävästä SF-arvosta. LoRa-laitteet kommunikoivat käyttäen LoRaWAN-protokollaa, joka on avoin standardi. LoRa datalähetykset ovat sääntelyn alaisia ja dataliikennettä on rajoitettu. LoRaa hallinnoi ja määrittelee LoRa Alliance-yhteisö, johon kuuluu tunnettuja firmoja. Alla olevassa kuvassa 2.7 on lähdettä [5] mukailleen kuvattu LoRaWAN-verkon rakennetta. LoRaWAN-verkkoarkkitehtuuri toteutetaan tähtitopologiana, jossa yhdyskäytävä on tähden keskipiste. Tässä kuvassa on pää-

telaitteita, joissa on sensoreita. Nämä päätelaitteet lähettävät viestinsä yhdyskäytävälle, joka puolestaan ohjaa verkkopalvelimen kautta viestit pilvipalveluun. Laitteiden ei tarvitse olla yhdistettynä johonkin tiettyyn yhdyskäytävään, vaan myös jokin toinen yhdyskäytävä voi toimittaa viestin perille. Tästä on hyötyä myös niille sovelluksille, joissa päätelaitteet saattavat liikkua paikasta toiseen, jolloin ne eivät ole sidottuja johonkin tiettyyn yhdyskäytävään. Tällainen sovellus voi olla esimerkiksi porolauman paikantaminen [32]. LoRaWAN ei tarvitse puhelinliikenteessä olevaa handover -tekniikkaa, jossa kohteen liikkua toisen yhteyskäytävän tai radiolinkin alueelle, pitää yhdyskäytävän valinta neuvotella uudestaan. Tämä tekee LoRaWAN-protokollasta yksinkertaisemman. LoRa-laitteet eivät myöskään välttämättä tarvitse erillistä GPS-moduulia, vaan paikannus voidaan suorittaa triangulaatiolla, jossa lasketaan LoRa-laitteen viestin matkaama aika kolmeen erilaiseen LoRa-yhdyskäytävään. SemTech kutsuu tätä LoRan Geolocation-ominaisuudeksi. Yksi sovellus tästä on matkakonttien paikallistaminen Irlannin Corkin satamassa [75]. LoRaWAN protokolla tekee viestimisestä luotettavan eli kadonnut viesti lähetetään uudestaan. Tämän lisäksi LoRaWAN on asynkroninen ALOHA-tyyppinen protokolla eli sensorinoodit kommunikoiivat vain silloin kun dataa pitää lähettää. Tällä tavoin pystytään säästämään myös energiaa. Downlink-yhteyttä käytetään yleensä lähetetyn datan onnistuneen perilletulon viestimiseen, kun taas uplink-yhteyden tarkoituksena on mitatun datan lähettäminen [56].



Kuva 2.7: LoRaWAN-verkon rakenne [5]

Kuvassa 2.7 oleva verkkopalvelin tutkii esimerkiksi, onko saapuvissa paketeissa duplikaatteja ja kohdatessan duplikaatin, se poistaa sen. Muita verkkopalvelimen tehtäviä ovat tietoturvan tarkistaminen, ACK viestin toimittaminen yhdyskäytävälle sekä paketin toimittaminen oikealle sovelluspalvelimelle.

LoRan hyviä puolia ovat pitkä kantama, suuri häiriönsieto (robustness), sietoisuus monipolun aiheuttamille häiriöille ja Doppler-efektille sekä matala virrankulutus. LoRa toimii seuraavilla lisensoimattomilla taajuualueilla: EU 868MHz ja Yh-

dysvallat 915MHz. LoRassa konfiguroitavia osia ovat taajuus (carrier frequency), SF (Spreading Factor), kaistanleveys sekä virheenkorjauskerroin eli CR (coding rate). LoRan pitkä kantama on peräisin LPWAN:in hyvästä linkkibudjetti (155dB [5]) arvosta. Iso linkkibudjetti arvo tarkoittaa, että signaali on kuultavissa vielä pitkänkin matkan päässä, kun signaali menettää koko ajan energiatehojaan matkatessaan kohti kohdetta [41]. Alla olevassa artikkelin [38] taulukossa 2.4 on lähdettä [38] mukailleen havainnollistettu Euroopan ja Pohjois-Amerikan käyttämiä laajakaista alueita, kanavia, SF- sekä linkkibudjetin arvoja. Esimerkiksi Euroopassa käytössä on uplink-yhteyden kohdalla 125kHz tai 250 kHz ja vastaavasti Yhdysvalloissa 125 kHz tai 250 kHz [44].

Taulukko 2.4: Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa käytetyt LoRa ominaisuudet [38].

Ominaisuus	Eurooppa	Pohjois-Amerikka
Taajuuskaista	867 - 869 MHz	902 - 928 MHz
Kanavat	10	64 + 8 + 8
Kanavan taajuuskais- ta uplink	125/250 kHz	125/500 kHz
Kanavan taajuuskais- ta downlink	125 kHz	500 kHz
SF arvo uplink	7 - 12	7 - 10
Tiedonsiirtomäärä	250 bps - 50 kbps	980 bps - 21,9 kbps
Linkkibudjetti uplink	155 dB	154 dB
Linkkibudjetti down- link	155 dB	157 dB

LoRa Standardi jakaa laitteet kolmeen luokkaan A, B ja C. Kaikkien laitteiden tulee kattaa vähintään A-luokan vaatimukset. Luokan A-laite tukee kaksisuuntaista liikennettä. Kun A-luokan laite on lähettänyt dataa, niin se heti avaa kaksi vastaanottoikkunaa sekunnin ja kahden sekunnin ajaksi. Seuraavan kerran palvelin voi lähettää dataa päätesolmulle vasta sitten, kun päätesolmu on ensin lähettänyt dataa palvelimelle. A-luokan laitteet ovat yleensä paristoilla toimivia ja niissä pyritään säästämään energiaa. Tämän vuoksi ei ole suositeltavaa pitää A-luokan laitteita koko ajan päällä. B-luokan laitteet toimivat kuten A-luokan laitteet ja tämän lisäksi ne voivat vastaanottaa dataa säännöllisin väliajoin. C-luokan laitteet pitävät vastaanot-

toikkunan koko ajan auki ja sulkevat vastaanottoikkunan ainoastaan, kun ne lähettävät dataa. C-luokan laitteet kuluttavat eniten energiaa ja ovat yleensä kytkettyinä verkkovirtaan.

Yksi teknologia ei voi kattaa kaikkia sovelluksia. Wifi sopii hyvin kodin verkon tietokonelaitteille. Puhelimissa käytetyt teknologiat sopivat taas hyvin isomman datamäärän siirtoon, mutta joiden energian kulutus on isompi. LPWAN-teknologialla saadaan parempi patterien kestävyys, mutta sillä ei voida siirtää isoja datamääriä. Alla olevassa kuvassa 2.8 on kuvattu LoRan sijoittuminen tietoliikenneympäristössä.

	Local Area Network Short Range Communication	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet of Things	Cellular Network Traditional M2M
	40%	45%	15%
😊	Well established standards In building	Low power consumption Low cost Positioning	Existing coverage High data rate
😞	Battery Live Provisioning Network cost & dependencies	High data rate Emerging standards	Autonomy Total cost of ownership
	Bluetooth 4.8	LoRa	GSM, 3G+, H+, 4G

Kuva 2.8: LoRan sijoittuminen tietoliikenne teknologioiden joukossa [5]

LoRa laitteet voivat rekisteröityä kahdella eri menetelmällä, jotka ovat OTAA (Over-the-air activation) ja ABP (Activation by personalization) [7]. OTAA -menetelmällä saadaan automatisoitua rekisteröitymistä, kun taas ABP-menetelmä vaatii manuaalista säätämistä. Aktivointiprosessin aikana seuraavat tiedot välittyvät päätelaitteelle:

- DevAddr: Päätelaitteen osoite, joka muodostuu 32-bittisestä tunnisteesta. Näistä seitsemän bittiä toimivat verkon tunnisteena ja 25 bittiä kertovat päätelaitteen verkko-osoitteen
- AppEUI: Sovelluksen globaali ID-tunniste, joka yksikäsitteisesti tunnistaa päätelaitteen omistajan
- NwkSKey: Verkko session avain, jota päätelaite ja verkkopalvelin käyttävät tarkistukseen vastaanotetun datan eheyden

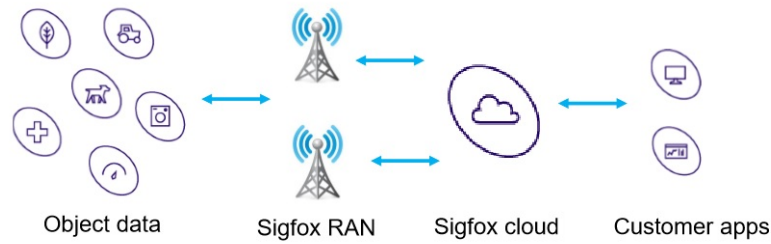
- AppSKey: Sovelluksen sessio avain, jota päätelaite ja verkkopalvelin käyttävät avataksaan tai salataksaan viestin tiedot

LoRa sovelluksia voivat olla esimerkiksi golf asiakkaiden peliajan ja reitin selvittäminen [71], älypuutarha [70], älymittarit (vesi, sähkö, kaasu) [68], älykäs vedenhallintajärjestelmä [67], älykäs tulvanseurantajärjestelmä [69], älykäs jätehuoltojärjestelmä [74], älykäs pysäköintijärjestelmä [73], älykäs varastettujen autojen ja lastin seurantajärjestelmä [66], älykäs palontunnistusjärjestelmä [65], kaatumisen tunnistamisjärjestelmä [64] ja älyvalaistus [72]. LoRa sopii hyvin henkilön paikallistamiseen kodin ulkopuolella pitkän kantaman takia. Paikallistamiseen ei tarvita suurta datamäärää, joten LoRan tiedonsiirtonopeus riittää. LoRan energian säästö ominaisuudet ovat myös hyvät, joten paristoja ei tarvitse vaihtaa usein.

2.3.2 Muita LPWAN-teknologioita

Sigfox on vuonna 2009 ranskalaisen yrityksen kehittämä teknologia. Sigfox omistaa verkon palvelimesta tukiasemille. SigFox käyttää Euroopassa 868 MHz:n lisensoimatonta taajuuskaistaa uplinkille. Lisensoimattoman taajuuskaistan käyttö tietää kustannussäästöjä. Toisaalta tämä tarkoittaa myös, että lähetettyjen viestien enimmäismäärä on rajoitettu. Sigfox lähettää uplink-yhteydellä hyvin pieniä datamääriä (12 tavua) hitaalla nopeudella (100 bps) [7]. Vastavaasti downlink-yhteydessä lähetetään kahdeksan tavua. Tämä teknologia on hyvä sovelluksille, joissa voidaan lähettää pieniä purskeita dataa silloin tällöin. Sigfox käyttää kapeata 100 Hz:in kaistanleveyttä. Lähetettävien uplink- ja downlink-viestien määrä riippuu palvelusopimuksesta [54]. Esimerkiksi Platinum tason palvelusopimuksessa jokainen päätelaite voi lähettää maksimissaan 140 uplink-viestiä ja neljä downlink-viestiä päivässä. SigFoxin linkkibudjetti on 155dB (uplink) [92].

Kuvassa 2.9 Sigfox päätelaitteet lähettävät uplink-viestin Sigfox tukiasemalle. Kuten LoRassakin viestin voi vastaanottaa useampi tukiasema. Sigfox tukiasema ohjaa viestin Sigfox pilveen, josta viesti edelleen ohjautuu johonkin asiakkaan sovelluksista. Kuvassa 2.9 voisi olla vielä välivaihe, jossa viesti ohjataan Sigfox pilvestä johonkin yksityiseen pilveen HTTP callback -metodien tai API:en kautta. Sigfox käyttää kaksisuuntaista liikennöintiä (uplink ja downlink). Molemmissa tapauksissa laite toimii liikennöinnin aloittajana. Sigfox on erikoistunut verkon ylläpitoon ja eikä keskity päätelaitteiden valmistamiseen. Tästä syystä Sigfox sopii hyvin sel-



Kuva 2.9: Kuva SigFox verkon rakenteesta [92]

laiselle asiakaskunnalle, joka ei halua olla tekemisissä verkkosäätöjen tai verkkopalvelimien pystyttämisen kanssa. Sigfox käyttää erilaisia modulaatioita uplink- ja downlink-yhteydessä. Uplink-yhteydessä käytetään D-BPSK modulaatiota, kun taas downlink-yhteydessä modulaationa on GFSK. Taulukossa 2.5 on lähdettä [50] mukailten vertailtu LoRaa ja Sigfoxia.

Taulukko 2.5: Tietoa LoRasta ja Sigfoxista [50].

Ominaisuus	LoRa	Sigfox
Maksimi tiedonsiirtonopeus	50 kbps	100 bps
Viestin maksimimäärä per vuorokausi	140(UL), 4(DL)	Rajoittamaton
Maksimi hyötykuorman koko	243 tavua	12 tavua (UL), 8 tavua (DL)
Salaus	AES 128b	Ei tuettu
Kantama	5 km (kaupunki), 20 km (maaseutu)	10 km (kaupunki), 40 km (maaseutu)
Modulaatio	CSS	BPSK
Mahdollisuus rakentaa yksityinen verkko	Kyllä	Ei

Sigfox on asynkroninen liikennöinti-protokolla [50]. Sigfox käyttää downlink-viestintää ACK-viestien välittämiseen ja downlink-viesteillä ei voida vastaanottaa dataa [16]. Samalla voidaan huomata, että LoRan tapauksessa downlink-viesteissä

voidaan välittää dataa. Koska jokaista uplink-viestiä ei voi kuitata ACK-viestillä, niin Sigfox yrittää parantaa luotettavuutta lähettämällä viestejä eri kanavilla useampaan kertaan. Tämä aiheuttaa sen, että jos yhdellä kanavalla esiintyy häiriöitä, niin voidaan vaihtaa toiseen kanavaan.

NB-IoT standardi valmistui 3GPP-järjestön Release 13 määrityksin kesäkuussa 2016. NB-IoT on yksi LPWAN-teknologioista. Toisin kuin LoRa ja SigFox toimii NB-IoT lisensoiduilla taajuuksilla. Tämä tarkoittaa sitä, että teleoperaattorit vastaavat yleensä yhteyksien tarjoamisesta. NB-IoT:ssä on 180 kHz:n kaistanleveys käytössä. NB-IoT voidaan ottaa käyttöön kolmessa erilaisessa tilassa, jotka ovat stand-alone, in-band ja guard-band [60]. NB-IoT:n kapea kaista voi olla kokonaan omalla taajuusalueella (stand-alone), tai ulkopuolella olevalla varoaluleella (guard-band) tai sitten muiden kantoaaltojen seassa (in-band). Kuvassa 2.10 on esitelty NB-IoT:n erilaiset toimintamoodit. Käyttöönotto voidaan tehdä hyödyntämällä jo olemassa olevia puhelinverkkoja, joten ei tarvitse ruveta rakentamaan uusia linkkitorneja.



Kuva 2.10: Kuva NB-IoT:n erilaisista toimintamooodeista [53]

NB-IoT perustuu LTE:hen ja sitä on yksinkertaistettu. Taulukossa 2.6 on lähdeettä [50] mukailien tietoja LoRasta ja NB-IoT:stä. NB-IoT:n huonoihin puoliin [35] kuuluvat seuraavat piirteet:

- Vain puolet NB-IoT viesteistä hyväksytään ACK-viesteillä (3 GPP spesifikaatio TR45.820). Tämä johtuu rajoitetusta downlink-viestinnän kapasiteetista.
- Pitkät viiveet johtuen pakettien yhdistelemisestä eli aggregaatiosta.
- NB-IoT käyttää kaupallista taajuuskaistaa. Jos operaattori saa puhe-, video-, tai ääni datasta enemmän rahaa, niin se rajoittaa IoT datan käyttöä. Koska kapasiteetti on rajallinen, niin voitto halutaan maksimoida. Toisaalta puhelintek-

niikat muuttuvat koko ajan 2G:stä 5 G:hen ja eteenpäin. Tämä ei tuo IoT sovellukselle sitä varmuutta, jossa samaa sovellusta haluttaisiin käyttää pitemmän ajan.

- NB-IoT:lla ei ole tukea firmwären päivityksille.

Taulukko 2.6: Tietoa LoRasta ja NB-IoT:stä [50].

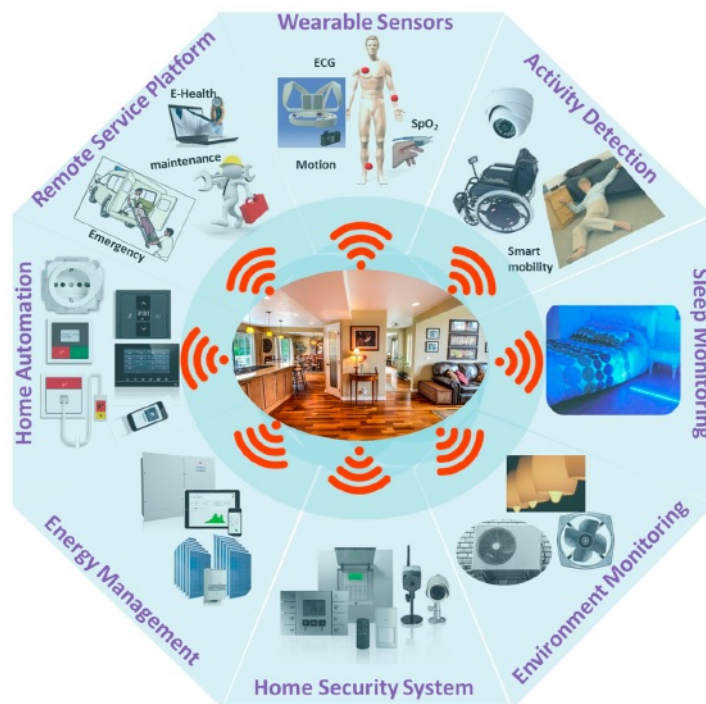
Ominaisuus	LoRa	NB-IoT
Maksimi tiedonsiirtonopeus	50 kpbs	200 kpbs
Viestin maksimimäärä per päivä	Rajoittamaton	Rajoittamaton
Maksimi hyötykuorman koko	243 tavua	1600 tavua
Salaus	AES 128b	LTE
Kantama	5 km (kaupunki), 20 km (maaseutu)	1 km (kaupunki), 10 km (maaseutu)
Modulaatio	CSS	QPSK
Mahdollisuus rakentaa yksityinen verkko	Kyllä	Ei

Lyhyen kantaman langattomat sensoriverkot ovat hyvä ratkaisu sisätiloissa, joissa ei tarvita pitkää kantamaa. Kun tarvittu sovellus vaatii pitkää kantamaa, esimerkiksi halutaan paikallistaa asukas talon ulkopuolelta, on pitemmän kantaman langaton sensoriverkko parempi ratkaisu. LPWAN-ratkaisut sopivat hyvin myös energiansäästön kannalta. Esimerkiksi paikantaminen talon ulkopuolelta ei tarvitse suuren datamäärän siirtoa, jolloin LPWAN-ratkaisu sopii hyvin tässäkin mielessä. Vastaavasti 4G kantama saattaa olla hyvä, mutta energian kulutus on suurempi kuin LPWAN-ratkaisuilla. LPWAN-ratkaisu on myös halvempi kustannuksiltaan verrattuna 4G-ratkaisuun. Lyhyenkin kantaman sensoriverkot pystyvät kasvattamaan kantamaa vertaisverkon ja monihypyn avulla. Tosin tämän johtaa pitempiin viiveisiin ja epätasaiseen energiankulutukseen sensorinoodien välillä [14]. Lyhyen kantaman sensoriverkot keskittyvät parempaan tiedonsiirtoon. Toisaalta ly-

hyen kantaman sensoriverkkojen signaali heikkenee jonkin verran kulkiessaan seinien tai muiden esteiden läpi [14].

3 Sensoriverkot älykodin apuna

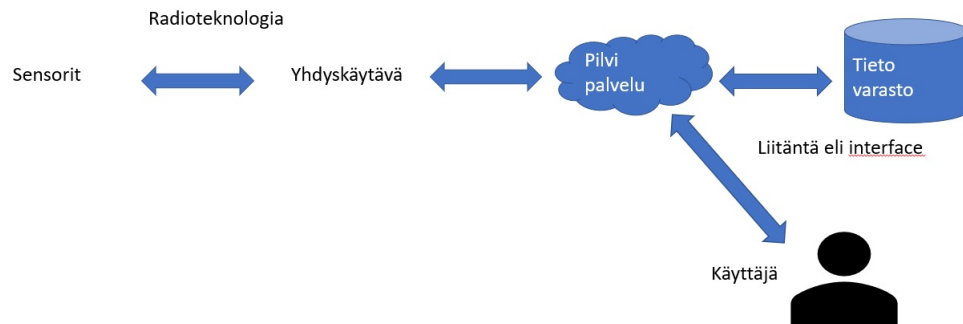
Sensoriverkoilla voi rakentaa älykodin sovelluksia moniin eri tarkoituksiin. Näitä sovelluksia voivat olla esimerkiksi toimintojen tunnistaminen, unen monitorointi, ympäristön valvonta, turvallisuuden valvominen, energian hallinta, automaatio, etäpalvelut sekä kannettavat monitorointivälineet [47] (Kuva 3.1). Seuraavaksi tullaan tarkastelemaan lähemmin niitä älykodin sovelluksia, jotka liittyvät terveydenhuollon alueelle.



Kuva 3.1: Älykodin erilaisia sovellusalueita [47]

Yleisessä IoT-arkkitehtuurissa anturit keräävät tietoa ja lähettävät ne radioteknologian avulla yhdyskäytävään (Kuva 3.2). Tieto ohjautuu yhdyskäytävästä eteenpäin radion välittämänä pilvipalveluun. Pilvipalvelu voi sisältää tietovaraston. Käyttäjä saa tiedon poimittua valitsemansa liitännän kautta. IoT-sovellus muodostuu sensoreista, yhdyskäytävästä, pilvipalvelusta ja käyttöliittymästä.

Seuraavaksi tarkastellaan toteutettuja terveydenhuoltoon liittyviä älykosisovelluksia. Aluksi määritellään mitä älykodilla tässä työssä tarkoitetaan. Tämän jälkeen käydään läpi älykosisovelluksia, joissa on hyödynnetty lyhyen kantaman sensoriverkkoteknologiaa. Lopuksi tarkastellaan pitkän kantaman verkkoihin liittyviä älykosisovelluksia.



Kuva 3.2: Yleinen kuva IoT arkkitehtuurista

3.1 Älykoti terveydenhuollon tukena

Väestön ikäihmisten osuus on koko ajan kasvamaan päin. Tämä aiheuttaa kasvavia kustannuksia terveydenhuololle. Asukkaan toimintoja seuraamalla, voidaan riskitilanteet havainnoida aikaisemmin, jolloin voidaan tehdä tarvittaessa väliintulo ja tarkistaa tilanne. Tämä väliintulo saattaa ehkäistä tilanteen muuttumista vakavammaksi ja jopa poistaa sairaalaan menemisen tarpeen. Älykodin tarkoituksena on seurata älykodin asukkaiden aktiviteetteja, terveydentilaa ja turvallisuutta sekä toimia muistin tukena normaalissa jokapäiväisessä elämässä [6]. Älykodin sensoriverkkoihin liittyviä sovelluksia voidaan toteuttaa joko lyhyen kantaman tai pitkän kantaman langattomilla verkoilla.

Älykodin päätehtäviin kuuluu asukkaan terveyden tilan tarkkaileminen. Esimerkiksi päälle puettava anturipuku voi kerätä asukkaasta tärkeitä tietoja, kuten sydämenlyönti-, verenpaine-, hengitystiheys- ja lämpötila tietoja. Päällepuettavien anturien lisäksi tietoja voidaan kerätä älykkäistä huonekaluista, kuten sängystä. Sänkyyn sijoitettujen antureiden avulla monitoroidaan yöllisten liikkeiden määrää

tai sydämen lyöntien tiheyttä.

Toinen tärkeä tehtävä älykodille on kodin turvallisuudesta huolehtiminen. Esimerkiksi älykotiin voidaan rakentaa vesivahinkotunnistus eri huoneisiin sijoitettujen antureiden avulla. Tämän lisäksi toisena esimerkkinä voisi olla kaasun tunnistaminen, kun käytössä on kaasukäyttöisiä laitteita. Älykoti hyödyntää lämpötilasensoreita, jotka antavat varoituksen liian suuresta tai alhaisesta lämpötilasta.

Kolmas tärkeä tehtävä älykodille on asukkaan toimintojen tunnistaminen. Esimerkiksi pimeällä kävelemisen aikana saattaa tapahtua törmäyksiä tai kaatumisia, joten on hyvä, jos älykoti osaa havainnoida liikkeen ja sytyttää valot. Asukkaan toimintojen tunnistamista saattaa helpottaa asukkaan sijaintitiedon tietäminen. Myös jos asukas on ollut liian pitkään liikkumatta jossain huoneessa, voi tämäkin merkitä tajuttomuutta tai vakavampaa sairauskohtausta.

Neljäs tärkeä tehtävä älykodille, on toimia muistin apuvälineenä [18]. Vanhemi- sen myötä myös muisti saattaa heiketä ja pahimmillaan ilmentyä dementiana. Tätä varten olisi hyvä, jos älykodissa olisi muistutusjärjestelmä, joka eri tavalla muistuttaisi vanhempaa asukasta esimerkiksi lääkkeen ottamisesta. Unohtamisen seurauksena myös tärkeät esineet, kuten avaimet, saattavat unohtua eri paikkoihin, jolloin on hyvä, jos älykotiratkaisu sisältää tärkeiden esineiden paikallistamisen.

Seuraavaksi tarkastellaan lyhyen kantaman verkkoihin liittyviä sovelluksia. Nämä sovellukset rajoittuvat yleensä johonkin rakennukseen ja sen sisätiloihin. Nämä sovellukset useimmiten liittyvät asukkaan terveydentilan tarkkailemiseen. Taulukossa 3.1 on lähteitä [47] ja [4] mukaillen tietoja älykodeissa käytetyistä kommunikointiteknologioista.

3.2 Lyhyen kantaman verkkoihin liittyvät sovellukset

Hyvä sovelluskohde lyhyen kantaman verkoille on rakennus ja sen sisätilat. Älykotiin liittyviä terveydenhuolollisia sovelluksia ovat vitaaliarvojen mittaaminen, asukkaan toimintojen tunnistaminen, paikallistaminen sisätiloissa ja kaatumisen tunnistaminen.

Taulukko 3.1: Älykodin kommunikointiteknologioita [47] ja [4]. Lyhennysten selitys TT= Toimintojen tunnistaminen, K= Kaatuminen, VM= Vitaaliarvojen mittaaminen, AS= Aktiivisuuden seuranta ja PS= Paikallistaminen sisätiloissa

Langaton tek-nologia	Tarkoitus	Sovellus	Kappale
RFID [47]	TT	Caregiver's Assistant	3.2.2
	TT	Gator Tech älykoti	3.2.2
Bluetooth [47]	K	Honey	3.2.4
ZigBee [47]	TT	PISRA	3.2.2
Wifi [47]	VM	MIThril	3.2.1
802.15.4 [4]	VM	CodeBlue	3.2.1
	TT	SATIRE	3.2.2
	PS	AS	3.2.3

3.2.1 Vitaaliarvojen mittaaminen

Vitaaliarvoilla tarkoitetaan niitä mittareita, joita pidetään terveyden kannalta oleellisenä. Vitaaliarvoja ovat esimerkiksi kehon lämpötila, veren paine, pulssi, hengitystiheys ja veren happipitoisuus [9]. Pulssi voidaan mitata kehosta, ranteesta, korvalehdestä tai sormenpäältä [9]. Hengitystiheyden muuttuminen voi olla seurausta astmakohtauksesta tai hyperventilaatiosta paniikkikohtauden yhteydessä. Hengitystiheyttä voidaan mitata eri tavoin. Yksi tapa perustuu siihen, että ulkopuolella oleva ilma on yleensä viileämpää kuin sisäänhengitetty ilma. Kehon lämpötilan muutos voi johtua kuumeesta tai hypotermiasta. Verenpaineen raju muutos on riskitekijä sydänkohtauksissa. Vitaaliarvoja voidaan mitata henkilöön liitettävien laitteiden ja päälle puettavien asujen avulla, joihin on liitetty antureita.

Alarm-Net on langaton sensoriverkko, jonka tehtävänä on avustaa ja seurata asukasta [88]. Alarm-Net ratkaisussa on käytössä ympäristöön sijoitettuja antureita sekä asukkaan päälle puettavia asuja, joihin on kiinnitetty anturit. Alarm-Netin langattoman sensoriverkon yhteyskäytävänä toimii Stargate. Stargateen saa lisättyä Wifin erillisellä PC-korttina sekä ZigBee-radion Mica2-moduulilla [43]. Stargatesa toimii puolestaan AlarmGate sovellus, joka huolehtii yhteyksistä. Alarm-Netin taustajärjestelmät analysoivat sekä tallentavat anturien keräämiä tietoja. Erilaisilla

käyttöliittymillä (PDA, tietokone) lailliset käyttäjät voivat tarkistaa esimerkiksi potilaan sijainnin tai anturien keräämää tietoa.

Lääkäri voi esimerkiksi tarkistaa miehen EKG-tiedot PDA-laitteellaan. AlarmNet käyttää esimerkkitapauksena kahden asukkaan kotia, jossa vanhempi nainen on altis kaatumiselle ja hänen miehellään on sydänkohtaus riski. Molemmat kantavat päälle puettavia anturiasusteita. Miehen anturiasuste mittaa EKG:ta, kun taas puolison asussa on kiihtyvyyssantureita, joilla voidaan tunnistaa mahdollinen kaatuminen. Molemmista kerätään anturidataa. AlarmGate tarkistaa lääkärin autentikoinnin ja jos kaikki on kunnossa, niin miehen EKG-tiedot välitetään lääkärille.

AlarmNet älykodissa on käytössä CodeBlue [89]. CodeBlue on ohjelmisto, joka integroi yhteen sensorinoodit ja loppukäyttäjän laitteet kuten tietokoneet ja PDA-laitteet [76]. CodeBlue kehitystyön rinnalla kehitettiin kolme CodeBlue laitetta: 1) laite, jolla pystyy mittaamaan sykkeen ja happisaturaation (pulse oximeter), 2) laite, jolla pystyy mittaamaan EKG:n (electrocardiograph) ja 3) liikettä analysoivan sensorinoodin. Tarkastellaan näistä ensimmäistä CodeBlue-laitetta.

3.2.1.1 Happisaturaatio

Henkilön sormeen voidaan laittaa CodeBlue laite, jolla saadaan mitattua henkilön veren happisaturaatio ja syke [48]. Happisaturaatio on kudoksen happipitoisuuden suhde sen suurimpaan mahdolliseen arvoon. Laitteen tekninen nimi on pulssioksimetri. Yleensä laite sijoitetaan joko sormeen tai korvan nipukkaan.

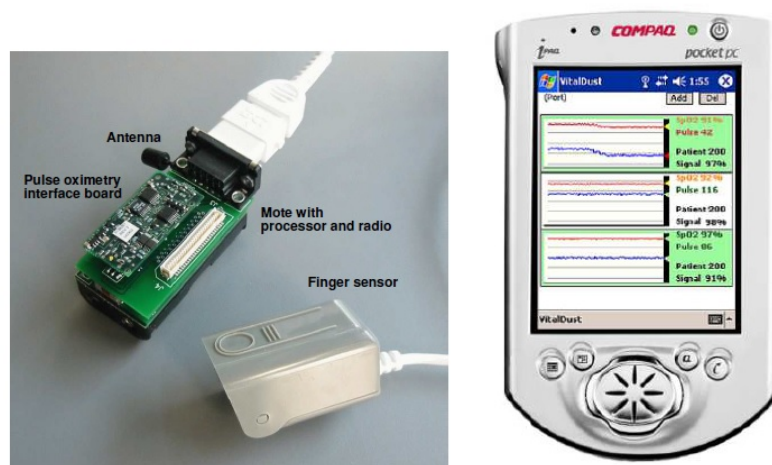
Happisaturaatiossa on käytössä kaksi erilaista mittaamismenetelmää: lähetyspulssioksimetria ja heijastuspulssioksimetria [1]. Lähetyspulssioksimetriassa laite lähettää kaksi erilaista aallonpituutta ihon osan läpi ihon toisella puolella olevaan vastaanottimeen. Laite mittaa kuinka paljon aallon voimakkuudesta katoaa sen edessä ihon läpi ja laskee sen perusteella happisaturaation. Heijastuspulssioksimetriassa kaksi lähetettävää eri aallonpituutta heijastuvat takaisin ihon samalla puolella olevaan lähettimeen (Kuva 3.3).

Potilas pitää sormen päässä sensoria, joka on liitetty kaapelilla Mica2-moduuliin (Kuva 3.4). Mica2-moduulissa on Chipcon CC1000 radiolähetin ja sen välittämiä tietoja voidaan tarkastella esimerkiksi PDA-laitteelta. Chipcon CC1000 radiolähetin toimii joko 433 MHz:n tai 915 MHz:n taajuusalueella ja sillä pystyy siirtämään dataa 76,8 kbps [84]. Chipcon CC1000 toimii UHF-radiotaajuudella. Radion kantavuus sisätiloissa on 20-30 metriä. Kuvassa 3.4 on esitetty sensori Mica2-moduleineen sekä PDA-laite. Mica2-moduuli pystyy kommunikoimaan joko Wifi:n, 802.15.4 standar-



Kuva 3.3: Pulssioksimetrian toimintatavat. Vasen kuva on lähetyspulssioksimetriasta ja oikea heijastuspulssioksimetriasta. [1]

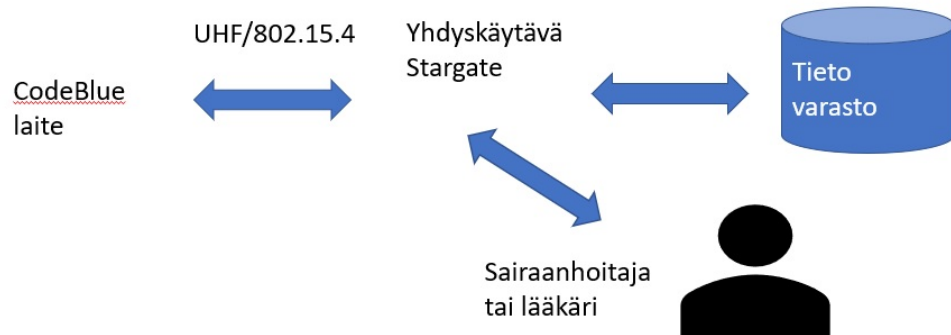
din tai 6LoWPANin kautta [87].



Kuva 3.4: CodeBlue sovellus, jolla saadaan mitattua potilaan veren happisaturaatio ja syke [48]

Laite toimii kahdella AA-paristolla. Laite käyttää aktiivisena ollessaan 20mA virtaa. Jos laite on koko ajan aktiivinen, niin tämä energiamäärä riittää 5-6 päiväksi. Laite pystyy hyödyntämään nukkumista, kun mitään ei tapahdu, jolloin virrankulutus on $10 \mu A$. Näistä CodeBlue happisaturaatiolaitteista tieto voidaan siirtää joko suoraan yhdyskäytävään tai tukihenkilön PDA-laitteeseen tai epäsuorasti kohteeseen käyttämällä monihyppyä sensorinoodien välillä. CodeBlue ohjelmistoa käyttävissä laitteissa on vertaisverkkotyyppinen datan kuljetus, jossa dataa voidaan siirtää CodeBlue-laitteesta käytävälle sijoitettujen kiinteiden sensorinoodien kautta eteen-

päin aina Stargate-yhdyskäytävälle asti [88] (kuva 3.5).

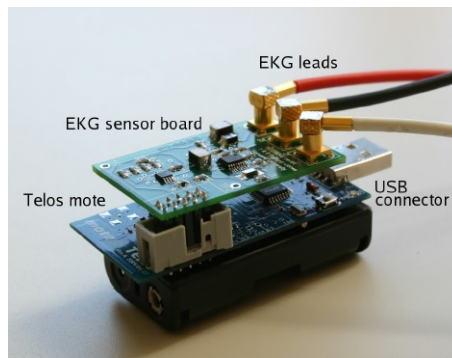


Kuva 3.5: CodeBlue-laitteen datankuljetus joko suoraan yhdyskäytävän tai epäsuorasti vertaisverkon kautta [88]

3.2.1.2 EKG

EKG:llä saadaan selvitettyä sydämen sähköinen käyrä ja tämä auttaa sydämen rytmihäiriöiden diagnostiikassa. Monet krooniset sydänsairaudet, kuten läppäviat, hoitamaton verenpainetauti ja sydänlihaksen supistumisen heikkeneminen voivat näkyä EKG:ssä pysyvänä poikkeavuutena. Perinteisesti EKG:tä on mitattu kiinnittämällä 12 elektrodiparia potilaan rintaan, käsivarsiin ja jalkoihin [24]. EKG-laite tallentaa elektrodiparien avulla sydämen sähkökäyrän tietyn ajan otoksena. Perinteinen EKG-mittaus ei sisällä jatkuvaa-EKG mittauksia. Jatkovaa EKG-mittauksia varten käyttöön on otettu EKG-laite, jossa on kaksi tai kolme elektrodia. Sairaalassa sydämen sähkökäyrä tulee näkyviin piirturille tai näytölle.

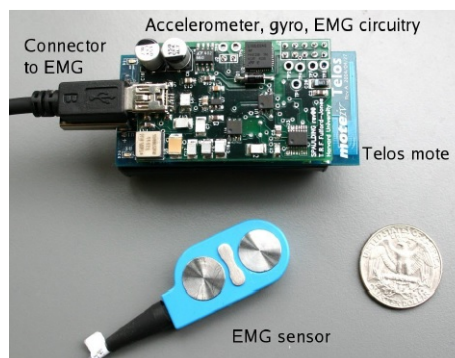
MiThrillin EKG-laite on rakennettu yhdistämällä Telos sensorinoodi sydämen EKG-piirilevyn kanssa (kuva 3.6) [76]. Tämä laite kuuluu myös CodeBlue-laitteisiin. EKG-laitteesta lähtee kolme elektrodia, joista kaksi liitetään ylä- ja alarintakehään ja kolmas elektроди tulee iholle. Telos sensorinoodi sisältää Chipcon CC2420 radion [83]. Chipcon CC2420 radiolähetin toimii 2,4 GHz:n taajuusalueella ja sillä pystyy siirtämään dataa 250 kbps. Radion kantavuus sisätiloissa on 50 metriä. Telos sensorinoodi pystyy kommunikoimaan 802.15.4 standardin kautta. Koska tämä laite kuuluu CodeBlue-laitteisiin, se pystyy kommunikoimaan vertaisverkon kautta.



Kuva 3.6: EKG-laite [76]

3.2.1.3 EMG

EMG:llä eli elektromyografialla rekisteröidään ja analysoidaan lihastoimintaan liittyviä sähköilmiöitä. Esimerkiksi Parkinsonin tauti ja aivohalvaus kohtaavat aiheuttavat tiettyjen lihasryhmien liikettä [11]. EMG-laite on rakennettu yhdistämällä Mercuryn liikkeentunnistuspiiri Telos sensorinoodiin (Kuva 3.7). Tämä laite kuuluu myös CodeBlue-laitteisiin ja pystyy siten kommunikoimaan vertaisverkon kautta.



Kuva 3.7: EMG-laite [76]

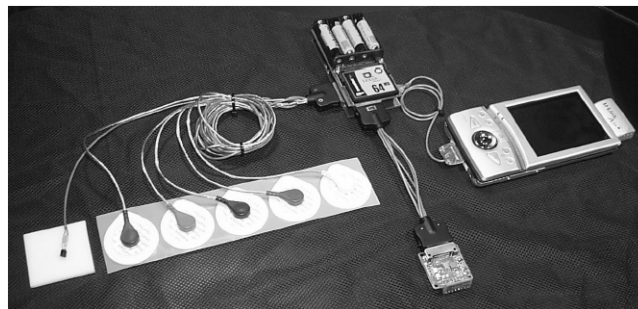
3.2.1.4 GSR

GSR:llä (Galvanic Skin Resistance) voidaan mitata ihon sähköisen resistanssin arvoa. Normaalityössä iho on hyvin resistiivinen. Hermostuneessa tilassa ihmisen ihosta tulee sähkönjohtava, joka aiheuttaa korkeamman GSR-arvon. Korkeata GSR-arvoa voidaan pitää hyvänä stressimittarina [19]. MIThrillin-järjestelmää oli testat-

tu puhujatilaisuudessa, jossa puhuja ja yleisö olivat pukeutuneet MIThril-asuihin. Puhujasta kerättiin sydämen syke ja GSR-arvot. Päälle puettava MIThril-järjestelmä muodostuu seuraavista laitteista: Zaurus PDA-laite, Hoarder sensorihubi, EKG / EMG/ GSR- ja lämpötilasensoreista sekä kiihtyvyyssanturista ja IR-lukijasta (Kuva 3.8). Zaurus PDA-laitteeseen voi liittää erilaisia CF-kortteja, kuten kännykkämodeemikortti, Bluetooth- tai Wifi-kortti. Hoarder sensorihubiin voi liittää langattoman FM lähetin-vastaanottimen.

3.2.1.5 Usean vitaaliarvon mittaaminen päälle puettavalla laitteella

Artikkelissa [78] on esitelty potilaan päälle puettava MIThril-järjestelmä (Kuva 3.8). Tällä laitteella henkilöltä voidaan mitata EKG, EMG ja GSR-arvot. MIThril-järjestelmä datan siirto tapahtuu Zaurus SL-5500 PDA-laitteen kautta. Laitteeseen voi ostaa erikseen DLink CF Wifi -kortin, jonka kautta pystyy siirtämään dataa Wi-fi:n kautta.



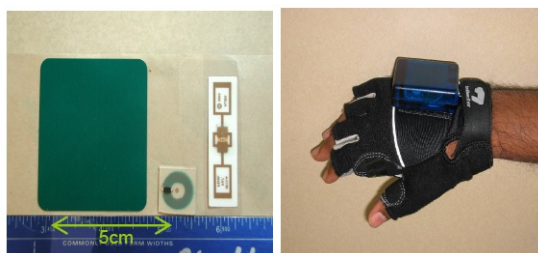
Kuva 3.8: MIThril-järjestelmä, joka muodostuu Zaurus PDA-laitteesta (oikea), Hoarder sensorihubista (yllä), EKG/EMG/GSR- ja lämpötilasensoreista (vasen) sekä kiihtyvyyssanturista ja IR-lukijasta (alhaalla) [78]

3.2.2 Aukkaan toimintojen tunnistaminen

Anturien antamien tietojen perusteella ihmisen eri liikkeitä tai toimintoja pyritään tunnistamaan esimerkiksi kävelyksi, juoksemiseksi tai paikallaan olemiseksi [42]. Sensoreiden yksi tarkoitus on tunnistaa asukkaan tekemiä toimintoja. Toiminnot voivat olla jopa hyvin yksinkertaisia, kuten seisominen tai monimutkaisia, kuten ruuan laittaminen. Monimutkaisissa tapauksissa asiaa vaikeuttaa vielä se, että

esimerkiksi ruuan laitto voi olla hyvin erilaista esimerkiksi ikäihmisen tai nuoren tapauksessa.

Joskus suoritettava toiminto voidaan arvata asukkaan käyttämästä esineestä. Caregiver's Assistant järjestelmässä [57] tämä saadaan aikaiseksi kiinnittämällä asukkaan erilaisiin tavaroihin tai esineisiin RFID-tägejä. Asukas kantaa vastaavasti RFID-lukijaa kaulakorussa tai käyttää käsinettä, jossa on RFID-lukija. Kun asukas tarkastelee RFID-tägin sisältävää esinettä, välitetään tieto esineestä RFID-lukijaan (Kuva 3.9). RFID-lukija käsine sisältää Mica2Dot radionoodin. Mica2Dot radiomoduulilla voidaan data välittää 15-30 metrin päässä olevaan yhdyskäytävään [23]. RFID-lukija ja Mica2Dot radionoodi sijaitsevat kuvassa olevan käsineen sinisessä kotelossa. Komponentit antennia lukuunottamatta, on saatu mahdutettua siniseen käsineessä olevaan pieneen laatikkoon. Samasta käsineestä on kehitetty myös toinen ratkaisu, jossa data ensin luetaan RFID-lukijalla ja sitten lähetetään eteenpäin Mica radionoodilla HP iPaq 5400 kämmentietokoneeseen, johon data voidaan tallentaa tai sitten ohjata Wifin kautta palvelinkoneelle [58].



Kuva 3.9: Vasemmassa kuvassa on RFID-tägi ja oikeassa kuvassa on käsine, jossa on RFID-lukija [57]

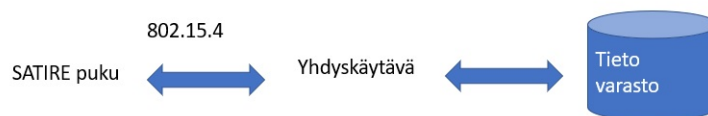
Caregiver's Assistant järjestelmää on testattu vanhusten terveydenhuollossa. Sovellus Caregiver's Assistant tarkkailee vanhusten päivittäisiä tekemisiä (Activities of Daily Living) ja tekee merkintöjä niistä www-lomakkeelle (Kuva 3.10). Tähän ns. ADL-listaan saattaa esimerkiksi kuulua toimintoja, kuten syöminen, sänkyyn meneminen ja sängystä poistuminen, WC:n käyttäminen, pukeutuminen, puhelimen käyttö, ruuan laitto, siivoaminen, vaatteiden pesu ja lääkkeiden ottaminen [82]. Caregiver's Assistant järjestelmässä käytetyllä käsineellä oli ongelmia tunnistaa käsien peseminen. Tähän vaikutti se, että käsine joutui tekemiseen veden ja metallin kanssa [58]. Metallia saattaa aiheuttaa oikosulun antennin kanssa. Tämän lisäksi metalli ja vesi vaimensivat RFID:n lähettämiä radioaaltoja. Tämän toiminnon tunnistami-

songelman voisi ratkaista sijoittamalla RFID-lukijan joko kelloon tai kaulakoruun.



Kuva 3.10: Sovelluksen Caregiver's Assistan luoma ADL-lomake [57]

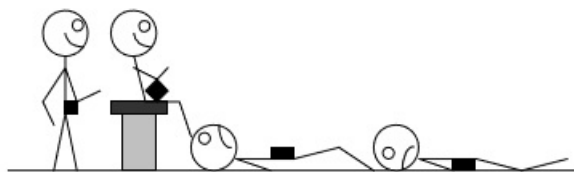
Toisena esimerkkinä toimintojen tunnistuksesta on esimerkkinä AlarmNet. Älykotiin on integroitu CodeBlue järjestelmä sekä SATIRE [25]. SATIRE järjestelmä on päälle puettava takki, joka sisältää kuusi MicaZ sensorinoodia. MicaZ moduuli sisältää 802.15.4 yhteensopivan radion. Tällä radiolla dataa voidaan siirtää ulospäin. Tiedot voidaan tallentaa flash-muistiin, josta ne voidaan siirtää yhdyskäytävän kautta ulospäin. Yhteydenpito ei ole jatkuva, vaan tietojensiirto tapahtuu vain silloin kun ollaan yhdyskäytävän läheisyydessä (Kuva 3.11). Energian kulutusta on saatu vähennettyä Duty-cycle-menetelmällä. Kun puku tunnistaa, että se on paikallaan, niin sensorinoodit menevät nukkumaan.



Kuva 3.11: SATIRE puvun yhteys yhteyskäytävään

Takissa on kiihtyvyyssensoreja sekä GPS-moduuli. Viisi sensorinoodia sisältää kiihtyvyyssensorin ja kuudes sensorinoodi puolestaan GPS-moduulin. Sensorinoodit on sijoitettu takissa molempien käsien kyynärvarren ala- ja yläpuolelle. Viides sensorinoodi on sijoitettu vyötärön lähelle ja GPS-moduulin voi puolestaan sijoittaa vapaasti, kunhan muistaa laittaa lähettimen osoittamaan ulkopuolelle.

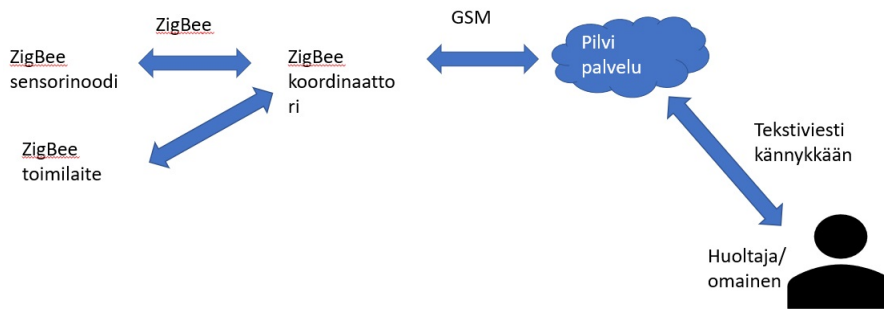
Kiihtyvyyssensorien avulla pyritään tunnistamaan asukkaan tekemiä liikkeitä tai toimintoja. Ensimmäinen prototyyppi takista sisältää kiihtyvyyssensoreita, mutta ajatuksena on, että takin sensorit voidaan vaihtaa tarvittaessa muihin sensoreihin. Liikkeiden tunnistamisessa käytetään x- ja y-koordinaattien arvoja. Esimerkiksi jos molemmat arvot x ja y ovat lähellä nollaa, on liike tulkittavissa paikoillaan oloksi. Esimerkiksi kaatumisessa x-koordinaatti saattaa olla melkein sama, kun taas y-koordinaatissa saattaa tapahtua äkillinen lasku. Liikkeet pyritään tunnistamaan x- ja y-koordinaateissa tapahtuvien muutosten perusteella. Tunnistettavia toimintoja ovat esimerkiksi istuminen, käveleminen, portaiden nouseminen ja syöminen. Näiden toimintojen tunnistamista on tutkittu artikkelissa [21]. Kiihtyvyyssensorin vaaka- ja pystysuoran kiihtyvyyden jännitearvoista riippuen, voidaan päätellä onko kyseessä oleva toiminto seisominen, istuminen tai makaaminen (Kuva 3.12). Kun toiminto on kävelemistä tai juoksemista, erottuvat ne toisistaan tarkastelemalla pystysuoraa kiihtyvyyden muutosta. Juoksemisessa pystysuora kiihtyvyyden muutos on rajumpi.



Kuva 3.12: Kiihtyvyyssensorin kiihtyvyyden vaaka- ja pystysuorat jännitearvot vaihtelevat seisomisesta, istumisesta tai makaamisesta riippuen [21]

Kolmantena esimerkkinä liikkeiden tunnistamisesta on PISRA-järjestelmä (Pervasive Intelligent System for Rehabilitation and Assistance) [13]. Tämä järjestelmä on erikoistunut tarkkailemaan tiettyjä tilanteita. Näihin tilanteisiin kuuluvat kaatuminen (FD = Fall Detection), sängyssä oleminen (BM = Bed Monitoring) ja onko asukas kodin sisätiloissa vai ulkona (IOP = Indoor Outdoor Position). Älykotiin on rakennettu ZigBee-verkko ja verkossa voi olla kolmenlaisia laitteita: ZigBee-sensorinoodi, ZigBee-toimilaitte sekä ZigBee-koordinaattori. ZigBee-sensorinoodit lähettävät datansa ZigBee-koordinaattorille. Jos tulee hälytystilanne, niin hälytysviesti lähetetään ZigBee-koordinaattorin kautta ZigBee-toimilaitteelle. Kuvassa 3.13 on esitetty PISRA-järjestelmä lähettä mukailien.

Asukas kantaa mukanaan vyötäröllään ZigBee-sensorinoodilaitetta, jossa on myös

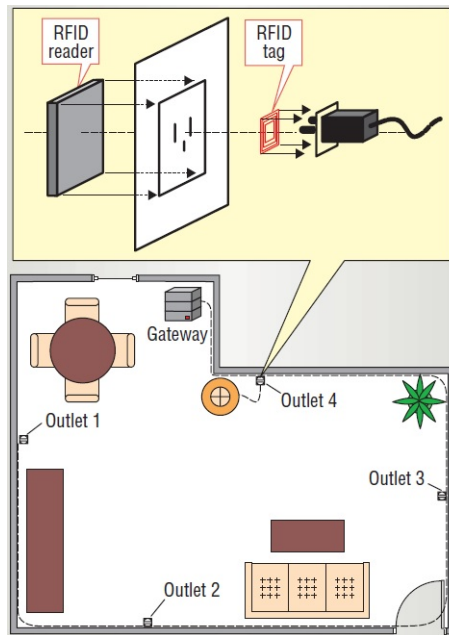


Kuva 3.13: Kuva PISRA-järjestelmästä [13] lähdettä mukailen

kiihtyvyyssanturi, GPS-lähetin sekä GSM-moduuli. Asukkaan poistuminen asunnosta aiheuttaa poiskytketymisen ZigBee-verkosta ja tällä tavalla voidaan havaita, että asukas on siirtynyt pois asunnosta. Tuoleihin ja sänkyyn on liitetty ZigBee-sensorinoodia ja kun asukas istuu tuolille kaksi tuolin sisällä olevaa kangasta yhdistyvät ja tuottavat suljetun piirin, joka tulkitaan tuolin käyttämiseksi. Samaa menetelmää on käytetty sängyssä. Kaatumistapahtuma saadaan selville kiihtyvyyssanturilla ja tieto toimitetaan ZigBee-verkon kautta ZigBee-koordinaattorille.

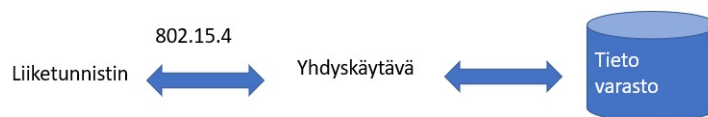
Neljäntenä esimerkkinä on Gator Tech älykoti [30]. Gator Tech älykodissa on RFID-lukijat integroitu sähköpistokkeiden sisään ja vastaavasti erilaisiin laitteisiin on lisätty RFID-tägit. RFID-tägiin on sisällytetty tietoa laitteesta. Kun asukas liittää tietyn laitteen sähköverkkoon, RFID-lukija lukee RFID-tägin tiedot ja ohjaa ne tietokoneelle (Kuva 3.14). Tieto välittyy datasähköverkon kautta tietokoneelle, joka toimii yhdyskäytävänä. Datasähköverkko voi käyttää esimerkiksi X10 protokollaa. Tätä ratkaisua voisi parantaa korvaamalla datasähköverkon langattomalla ratkaisulla.

Joskus asukkaan toimintojen puuttuminen tai passiivisuus pitkällä ajalla voi olla merkki sairauskohtauksesta. Osa sovelluksista saattaa kerätä tietoa huoneistoissa vietetyistä ajoista ja jos aika ja paikka on epänormaali, on syytä epäillä, että kaikki ei ole kunnossa. Esimerkiksi asukas on ollut suihkussa koko yön. Viidentenä esimerkkinä on AlarmNetin CAR-ohjelma (Circadian Activity Rhythm). CAR-ohjelma seuraa ja analysoi asukkaan tyypillisiä toimintakuvioita. Toimintakuviot ovat yleensä jossain huoneessa vietettyjä kertoja tai aikoja. Jos käyttäymiskuvioissa tapahtuu jokin epäsäännöllisyys, niin tästä lähtee hälytys analysoitavaksi taustajärjestelmille. CAR-kaavio on tyypillisesti kaavio, jossa y-akselilla on minuutit ja x-akselilla on tunnit. CAR-kaaviosta voi nähdä minä tunteina asukas on viettänyt enemmän ai-



Kuva 3.14: Sähköpistokkeeseen on integroitu RFID-lukija ja laitteessa on vastaavasti RFID-tägi [30]

kaa esimerkiksi makuuhuoneessa. Toimintojen tunnistaminen CAR-analyysiä on enemmänkin arvausta tyyliin oleskelu makuuhuoneessa on nukkumista, kun taas oleskelu keittiössä on syömistä. Alarmnet kerää tietoa huoneissa olemisista liiketunnistimien avulla. Kun liiketunnistin havaitsee liikkeen, se lähettää datansa 802.15.4 protokollan avulla yhdyskäytävään (Kuva 3.15). Jos liikesensori ei ole yhdyskäytävän lähellä, niin data etenee monihyppyä käyttäen sensorinoodeilta yhdyskäytävälle. Alarmnetissä yhdyskäytävänä toimii Stargate. Yhdyskäytävä ohjaa datan tallettavaksi tietokantoihin käyttäen IP-verkkoa.



Kuva 3.15: Liiketunnistin välittää datan yhdyskäytävään käyttäen 802.15.4 standardia

Viimeisenä esimerkkinä toimintojen tunnistamisesta esitetään tapaus, jossa asuk-

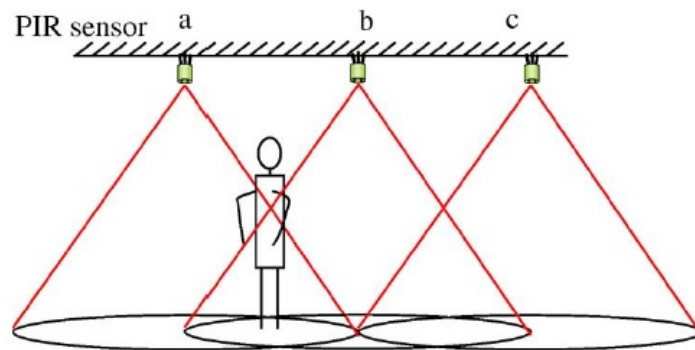
kaan käyttämiin laitteisiin on liitetty ZigBee-lähetin ([80] ja [79]). Sähköisiin laitteisiin, kuten TV, leivänpaahdin, mikroaaltouuni ja vedenkeitin, on liitetty ZigBee-moduuli, joka sisältää virta-anturin. Kun asukas käyttää laitetta, lähettää laitteeseen kytketty ZigBee-moduuli ZigBee-radion kautta tiedon laitteen päällä olosta ZigBee-koordinaattorille. ZigBee-koordinaattori toimii yhdyskäytävänä. Asukkaan perustoimintojen tunnistaminen perustuu käytettävään laitteeseen sekä vuorokauden aikaan. Monimutkaisempien toimintojen tunnistaminen perustuu sensorien aktivointijärjestykseen. Virta-antureiden lisäksi oli käytetty myös sekä paine- että kontaktiantureita. Paineantureita oli käytetty sängyssä, sohvassa, wc-istuimessa ja keittiön tuolissa. Kontaktianturia oli käytetty jääkaapin ovesa. Myös paine- ja kontaktianturit sisälsivät ZigBee-moduulin. Käytössä oleva ZigBee-verkko oli tähtiverkko.

3.2.3 Paikallistaminen sisätiloissa

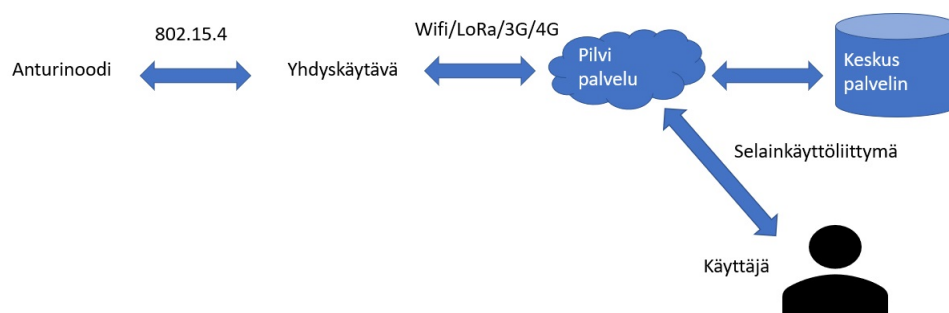
Äskeisen kohdan viimeisessä esimerkissä asukas oli viettänyt epänormaalin pitkän ajan tietyssä huoneessa. Tämä voi olla merkki sairauskohtauksesta. Paikallistaminen voi perustua asukkaan mukana kannettavaan laitteeseen (esimerkiksi RFID-lukija) tai ympäristössä olevaan paikannuslaitteeseen tai sijaintimerkkiin (esimerkiksi RFID-tägi), jolloin asukkaan ei tarvitse kantaa laitetta mukanaan.

Yksi tapa paikantaa asukas on asentaa kattoon passiivisia infrapunatunnistimia (PIR). Kun asukas liikkuu, niin yksi tai useampi passiivinen infrapunatunnistin paikantaa asukkaan (Kuva 3.16) [39]. Passiiviset infrapunatunnistimet siirtävät datan kodin palvelinkoneeseen kodin tietoverkon kautta. Vastaavanlaisessa toteutuksessa Kokkolan palvelutalon kerrostalohuoneistossa passiivisten infrapunatunnistimien data on välitetty 802.15.4 radioteknologialla yhdyskäytävälle. Kuvassa 3.17 on lähettä [28] mukailleen esitetty Kokkolan palvelutalossa toteutettu palvelu. Data on välitetty asunnosta ulospäin Wifi, LoRa, 3G tai 4G-yhteydellä yhdyskäytävältä ulkoiselle keskuspalvelimelle.

Toinen tapa paikallistaa potilas, on käyttää RSSI:tä etäisyyden arviointiin rakennuksessa [31]. Jos tuntematosta sijainnista tiedetään etäisyys kolmeen erilaiseen referenssipisteeseen, voidaan kohteen sijainti selvittää trilateraatiolla [8]. Verkossa voi olla kolmenlaisia sensorinoodeja: 1) staattinen, 2) yhdyskäytävä ja 3) liikkuva (Kuva 3.18). Yhdyskäytävä sensorinoodi toimii ulospääsytienä ZigBee-verkosta. Yhdyskäytävä solmu saa jatkuvasti virtaa sähköverkosta. Yhdyskäytävä solmu on myös kiinteästi paikoilleen sijoitettu sensorinoodi. Staattiset sensorinoodit ovat kiinteästi rakennukseen sijoitettuna ja saavat jatkuvasti virtaa sähköverkosta. Liikkuvat sen-

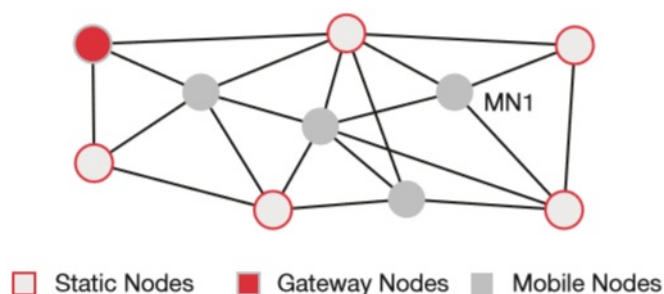


Kuva 3.16: Aukkaan paikantaminen passiivisten infrapunasensorien avulla [39]



Kuva 3.17: Passiivisten infrapunatunnistimien datan välittäminen yhdyskäytävälle 802.15.4 teknologian avulla [28]

sensorinoodit ovat paristokäyttöisiä. On myös hyvä, jos liikkuvan sensorinoodin saa suunniteltua pienikokoiseksi, jolloin käyttäjän on helppo kantaa ja kuljettaa sitä mukanaan. Liikkuvan kohde voidaan paikallistaa erilaisilla multilateraatio tekniikoilla. Esimerkiksi kuvassa 3.18 oleva sensorinoodi MN1 sijaitsee kolmen eri staattisen sensorinoodin lähellä. Etäisyyden arvioimiseksi pitää laskea vastaanotetun signaalin voimakkuuden RSSI-arvot (Received Signal Strength Indicator) kolmeen erilaiseen staattiseen sensorinoodiin. Jotta etäisyyden mittaus toimisi hyvin eri rakennuksen osissa, on tärkeää saada aikaiseksi hyvä peittoalue. ZigBee-verkon vahvuuksia on myös se, että yhden solmun vioittuessa, liikenne ohjautuu muiden solmujen kautta.

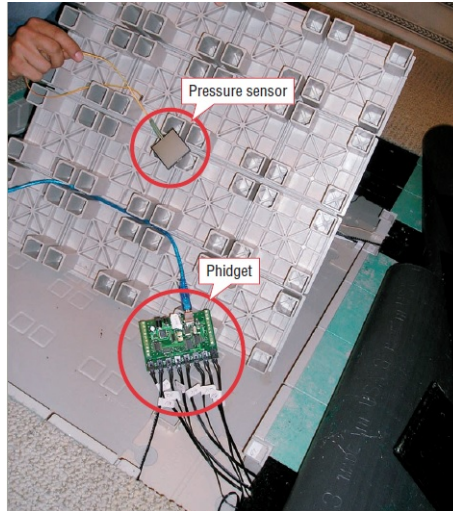


Kuva 3.18: ZigBee-verkko, jossa on kolmenlaisia sensorinoojeja [31]

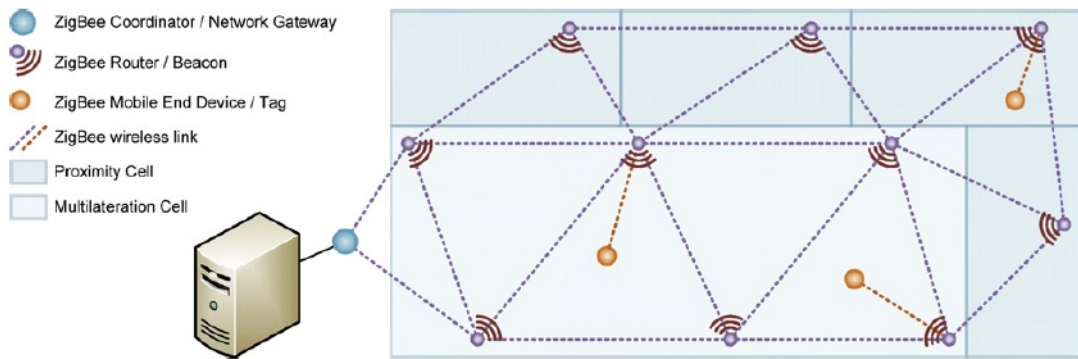
Kolmas tapa paikallistamiseen on älylattia, joka perustuu painesensoreihin. Tämä ratkaisu otettiin käyttöön Gator Tech smart house älykodissa. Painesensorit on yhdistetty phidget-laitteeseen (Kuva 3.19). Menetelmästä puuttuu langaton tiedonvälitys ja data siirretään USB-kaapelin avulla phidget-laitteesta tietokoneelle. Phidget-laitte voi olla yhdistettynä kahdeksaan painesensoriin.

Neljännessä ratkaisussa on yhdistetty sekä langaton ZigBee-radio että ultraääni [49]. Tässä ratkaisussa majakkanoodi lähettää ultraäänen, noodi vastaanottaa sen ja merkitsee muistiin saapumisajan. Tämän jälkeen noodi lähettää saapumisaika tiedon ZigBee-radiolla majakalle, joka ZigBee-vertaisverkon kautta kulkee lopulta yhdyskäytävälle eli ZigBee-koordinaattorille (Kuva 3.20).

Tässä ratkaisussa yhdyskäytävä ei ole heti suorassa yhteydessä noodiin, vaan data kulkee välisolmujen kautta noodilta yhdyskäytävään. Huoneet on jaettu P- ja M-huoneisiin. P-huoneesta paikannukseen riittää huoneen tieto, kun taas M-huoneesta halutaan tarkempi sijainti huoneessa. Majakat saavat jatkuvasti virtaa, kun taas noodit toimivat paristolla.



Kuva 3.19: Älylattiassa painesensori on yhdistetty Phidgettiin. [30]



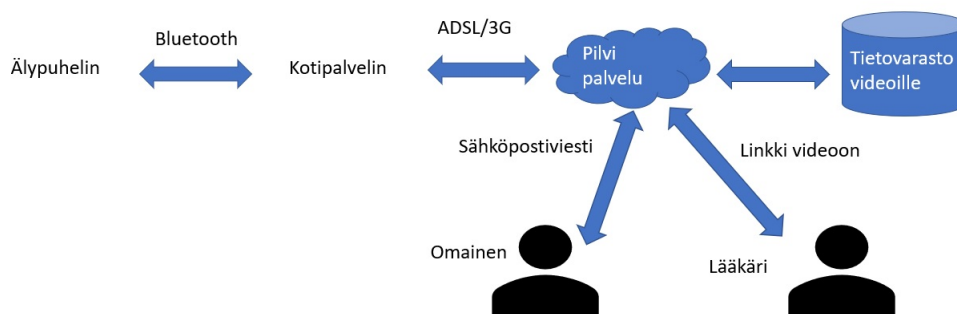
Kuva 3.20: Järjestelmän arkkitehtuuri. [49]

Viimeisenä esimerkkinä sisätilan paikallistamisessa käytetään RFID-tägi ratkaisua [52]. RFID-tägit oli sijoitettu tossuihin ja vastaavasti RFID-lukijat oli sijoitettu mattojen alle. Tämä menetelmä edellyttää, että mattojen sijaintipaikat pitää valita huolella. Yksi tapa on sijoittaa ne huoneen oviaukon eteen. Kun asukas astuu tossun kanssa matolle, lukee matto asukkaan id tiedon. Tämä tieto välitetään LAN-verkon kautta tietokoneelle. Tässä ratkaisussa ei oltu käytetty langatonta verkkoa ja syyksi todettiin, että mikroaaltouunin käyttö haittasi tiedonkeruuta. Tosin tässä olisi voitu käyttää jotain toista langatonta taajuutta tiedonsiirtoon.

3.2.4 Kaatuminen

Kaatumiseen liittyviä ongelmia ovat tilanteet, joissa asukas menettää tajunsa. Tällaisessa tilanteessa asukas ei voi painaa laitteen hätäpainiketta. Tämän lisäksi kaatumisen tunnistaminen on myös ongelmallista. Esimerkiksi nopea istahtaminen tai makuulle meno, saatetaan tulkita kaatumiseksi. Samalla tavalla kuin paikallistamisessa, niin kaatumisen sovellukset voivat perustua asukkaan kantamiin laitteisiin tai ympäristössä oleviin laitteisiin, jotka havaitsevat kaatumisen. Toisaalta kannettavissa laitteissa ongelmana on se, että niitä tarvitsevat henkilöt, saattavat unohtaa niiden päälle laittamisen. Yksi esimerkki ympäristöön rakennetusta havaintojärjestelmästä on esimerkki, jossa seinään on sijoitettu tietyn etäisyyden välein pystysuunnassa akustisia tunnistimia. Kaatumisen tunnistaminen perustuu siihen, että ylimmän akustisen tunnistimen saama signaali on heikko tai olematon [59]. Honey-järjestelmässä (Home Healthcare Sentinel System) kaatuminen yritetään tunnistaa kolmella eri tavalla [91]. Tunnistamistapoihin kuuluu audio, video ja kiihtyvyyssensorin antama data. Kuvassa 3.21 on esitetty Honey-järjestelmä lähde [91] mukailleen. Kaatumisesta kuuluva ääni ja kiihtyvyyssensorin antama data analysoidaan. Jos näistä tiedoista tapahtuma tulkitaan kaatumiseksi, lähetetään video kaatumisesta kotipalvelimelta pilvipalveluun sekä linkki videoon lääkärille. Data siirtyy kotipalvelimelta pilvipalveluun asukkaan käyttämää verkkoliikennettä pitkin (ADSL, 3g). Asukas kantaa älypuhelinä vyötäröllään. Älypuhelin vastaa tässä esimerkissä sensorinoodia. Kaatumisen tapahtuessa älypuhelimessa oleva kiihtyvyyssensorin data siirtyy Bluetooth-yhteyden kautta kotipalvelimelle eli yhdyskäytävään. Tutkijat olivat pohdiskelleet myös ZigBee-yhteyttä Bluetooth-yhteyden lisäksi, mutta olivat kokeneet, että kantama oli tietoturvan kannalta liian suuri. Mikrofoni ja videokamera ovat huoneessa. Testatussa prototyypissä mikrofoni ja kamera olivat yhdistetty suoraan kotipalvelimeen. Ongelmiksi oli koettu mikrofonin sijoittaminen sekä

energiankulutus. Äänentunnistus perustui avainsanojen "Help me", "Call 120", "I am fine" ja "Cancel Alarm" tunnistamiseen. Lähetetystä videosta ei analysoitu asukkaan kaatumisasentoa esimerkiksi suorakulmio tunnistamisella, vaan videokuva lähetettiin ja tallennettiin pilvipalveluun.



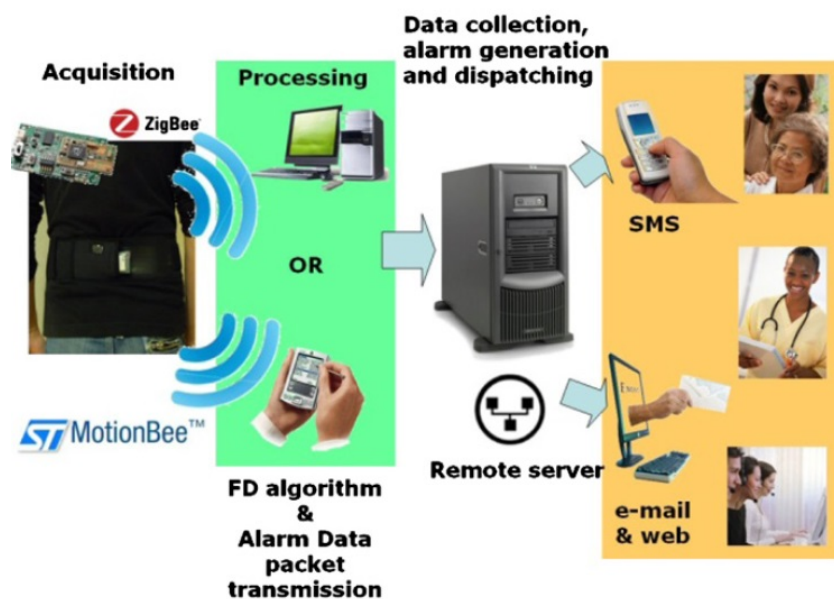
Kuva 3.21: Honey kaatumisen tunnistamisen järjestelmä lähde [91] mukailleen

ZigBee-yhteyttä noodin ja yhteyskäytävän välillä on käytetty ratkaisuna artikkelissa [10]. Käyttäjä pitää vyöllään MotionBee sensorinoodia, joka on ZigBee-yhteydessä yhdyskäytävään. Alla olevassa kuvassa 3.22 on esitetty järjestelmän arkkitehtuuri.

Kolmantena esimerkkinä on kokoelmajulkaisun [81] ZigBee-toteutus. Asukas kantaa mukanaan sensorinoodia, jossa on 802.15.4-lähetin. Kotiverkko muodostuu 802.15.4 sensorinoodeista ja yhteyskäytävästä. Huoneessa olevat sensorinoodit sisältävät myös kameran. Kaatumisen yhteydessä sensorinoodin kiihtyvyyssensori laskee kiihtyvyyden ja huoneistossa olevat sensorinoodit aktivoituvat ja ottavat kuvia. Jos kiihtyvyyssensori ja kuvat tukevat kaatumista, niin vielä odotetaan 10 sekuntia asukkaan vastausta. Jos vastausta ei tule, niin sensorinoodi soittaa ennalta määritellylle tukihenkilölle. Sensorinoodi avaa 802.15.4 radioyhteyden yhdyskäytävään. Yhdyskäytävässä puolestaan aktivoituu puhelinyhteys tukihenkilöön.

3.3 Pitkän kantaman verkkoihin liittyvät sovellukset

Kun asukas astuu kotinsa ulkopuolelle ja lähtee etenemään kauemmaksi pois kotoa, tarvitaan avuksi teknologioita, joilla saadaan aikaiseksi datan lähettämisen



Kuva 3.22: Järjestelmän arkkitehtuuri [10]

pitempi kantama. Taulukossa 3.2 on lueteltu pitkän matkan sovelluksia.

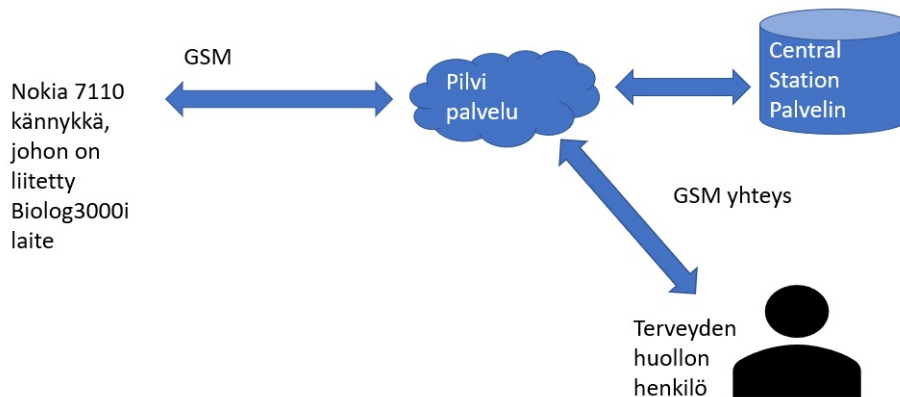
Taulukko 3.2: Pitkän matkan kommunikointitekniologioita. Lyhennysten selitys VM= Vitaaliarvojen mittaaminen ja PU= Paikantaminen ulkona

Tarkoitus	Langaton teknologia	Kappale	Sovellus
VM	GSM	3.3.1	Airmed-Cardio
PU	GSM	3.3.2	Dementia potilaan paikantaminen
	LoRa	3.3.2	Kohteen paikantaminen

3.3.1 Asukkaan vitaaliarvojen mittaaminen ja tietojen lähettäminen älykodin ulkopuolelta

Kun asukas on luomassa lunta talon ulkopuolella tai kauempaa, olisi hyvä jos mahdollinen sydänkohtaus tieto saataisiin välitettyä terveysasemalle. Airmed-Cardio-

järjestelmässä asukkaan sydämensähkökäyrätietojen (EKG) lähettämiseen on käytetty kännykän GSM-modeemiyhteyttä ja kannettavaa laitetta (Biolog3000i), joka oli yhdistetty kännykkään [63]. Kannettava laite tallentaa EKG-tiedot ja lähettää ne eteenpäin kännykän avulla. Kuvassa 3.23 on lähdettä [63] mukailten esitetty EKG-datan eteneminen potilaalta terveydenhuollon henkilölle. Central Station palvelin sisältää tietokanta ja www-palvelimet. Potilaan EKG-data tallenetaan tietokantaan.

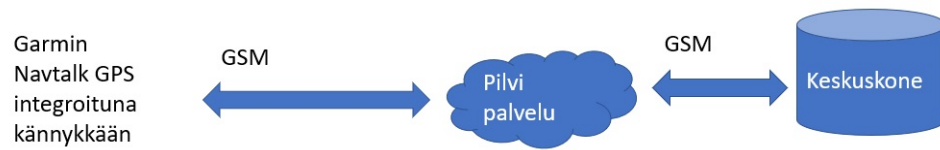


Kuva 3.23: Airmed-Cardio järjestelmä lähdettä [63] mukailten

3.3.2 Asukkaan sijainnin paikantaminen älykodin ulkopuolella

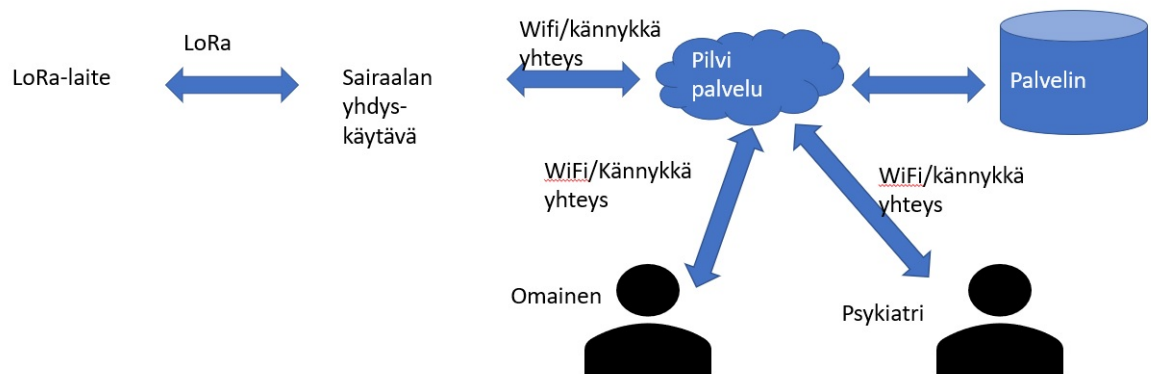
Dementiasta kärsiville potilaille vaeltelu on yleinen ongelma. Dementia potilas ei saata löytää takaisin kotiinsa ja tästä seurauksena saattaa olla hypotermia, loukkaantuminen, nestehukka tai kuolema [86]. Yksi tapa paikantaa älykodin ulkopuolella oleva asukas on, että asukas kantaa mukanaan kännykkää, johon on integroitu GPS. Kännykkä tekee paikantamisen satelliittiyhteyksiä käyttäen GPS:ää. Tieto asukkaan sijainnista välitetään GSM-verkon kautta [51]. Kuvassa 3.24 on esitetty potilaan GPS-sijaintitiedon välittäminen GSM-verkon avulla lähdettä [51] mukailten.

Toisena esimerkkinä on mielenterveyspotilaan paikantaminen kodin ulkopuolelta [29]. Kuvassa 3.25 on esitetty lähdettä [29] mukailten tiedon eteneminen potilaan laitteesta psykiatrin kännykkään. Laite voidaan kiinnittää potilaan käsivarren ympärille. LoRa-laite sisältää GPS-moduulin. Potilaan GPS-sijaintitieto välitetty LoRa-yhteyden avulla sairaalan LoRa yhdyskäytävälle. Täältä tieto etenee, joko WiFi- tai kännykkäyhteyden kautta pilvessä olevalle palvelimelle. Palvelimen tehtävänä on prosessoida tieto ja myös tarvittaessa visualisoida se karttasijaintina.



Kuva 3.24: GPS-sijaintitiedon lähettäminen GSM-verkon kautta lähdetä [51] mukaillen

Palvelimesta tieto voi siirtyä WiFi- tai kännykkäyhteyden avulla joko omaiselle tai psykiatrille.



Kuva 3.25: Tiedon eteneminen mielenterveys potilaan laitteesta psykiatrin kännykkään lähdetä [29] mukaillen

Kolmannessa esimerkissä on paikannettu kohde neljän LoRa tukiaseman kautta ilman GSM:än tai GPS:än käyttöä [20]. Kohteessa eli tuntemattomassa paikassa käytettiin sensorinoodina Waspotea. Waspote pystyy lähettämään dataa LoRaWAN-protokollan avulla. Kun sensorinoodi lähettää dataa se vastaanotetaan neljässä erillisessä yhdyskäytävässä. Tuntemattoman paikan sijainti pyritään saamaan selville multilateraatiolla. Kun sama paketti on saapunut neljään eri tukiasemaan, saadaan aluksi selvitettyä saapumisaika. Tämän jälkeen lasketaan saapumisaikojen erotukset eli TDOA (Time difference of arrival). Yhdyskäytävät on synkronoitu keskenään, kun taas lähettäjän ei tarvitse olla synkronoitu. Kohteen sijainti on kahden hyperbelin leikkauskohdassa. Neljä yhdyskäytävää ohjaavat tietonsa TTN-verkon verkko-

palvelimelle, joka ohjaa tiedot sovelluspalvelimelle, jonka tehtävänä on hakea aika-tieto ja tallentaa se tietokantaan.

3.4 Yhteenveto

Useat älykodin sovelluksista on toteutettu lyhyen kantaman radioteknologioiden avulla. Lyhyen kantaman radioteknologiat toimivat hyvin sisätiloissa. Toisaalta ei ole olemassa yhtä ratkaisua kaikkiin ongelmiin. Oletetaan, että haluttaisiin rakentaa kerrostaloon vedenvuodon tunnistava järjestelmä. Wifi-toteutuksen ongelma on siinä, että se tietäisi tukiaseman jatkuvaa päällä pitoa kotona. Tästä saataisi aiheutua tulipalovaara, kun olisi pidemmällä matkoilla pois kotoa. Tällaisessa tapauksessa olisi parempi, jos vedenvuodon tunnistusjärjestelmä toimisi paristoilla eli teknologian pitäisi olla energiankulutukselta vähäisempää. Paristokäyttöinen vedenvuotojärjestelmä toimii myös mahdollisten sähkökatkosten aikana. Joten vedenvuodon tunnistusjärjestelmä käyttäisi tässä tapauksessa joko ZigBee, LoRa tai Sigfox protokollaa. Tieto mahdollisesta vedenvuodosta välitettäisiin yhdyskäytävän kautta tekstiviestinä kännykkään. Kun tarvitaan ulkopuolella olevia sovelluksia, tarvitaan pitkän matkan radioteknologioita. Aikaisemmin mainitun GSM:n ongelmana on suuri energian kulutus radiolähetyksissä eli patteri tai akku kuluu nopeasti. GSM-tekniikan ongelmana on myös vanhentuminen, kun pyrkimys on ottaa uudempia tekniikoita käyttöön, kuten 5G. GSM-tekniikka on myös kallista. Puhelinyhteydet tarvitsevat yleensä myös SIM-kortin ja puhelinmaksuista tulee oma kustannuksensa [22]. Rakennuksen tai rakennukset saa katettua hyvin ZigBee-verkolla, mutta kun kohde siirtyy rakennuksien ulkopuolelle, seuraa tästä taas ongelmia. ZigBee ja muiden lyhyen kantamien verkon laitteiden ongelmana on siirrettävyys, kun kohde liikkuu pitkiä matkoja paikasta toiseen. Älykaupunkisovelluksissa tarvitaan pitkän kantaman radion ratkaisuja. Näissä ratkaisuisa yhdistetään pitkän kantaman päässä olevat laitteet suuremmaksi tiedonkeruu verkoksi. Myös ratkaisuisa joissa kohde liikkuu pitkän matkan, ei välttämättä ole kannattavaa rakentaa koko kaupungin kattavaa ZigBee-verkkoa sensorinoodien suuren lukumäärän takia. Aikaisemmin mainittu GPS-paikannus toimii hyvin kodin ulkopuolella, mutta GPS-paikannuksen käyttö ei onnistu yhtä hyvin sisätiloissa [46].

4 Case SmartHome

Kokkolan älykoti tutkimus suoritettiin Keski-Pohjanmaan sosiaali- ja terveystalvelukuntayhtymän (Soite) hallitsemassa huoneisto ryppäässä [40]. Tämä huoneisto rypäs on suunnattu ikäihmisille. Huoneistorypäs muodostuu 70 asunnosta. Kotihoidon yksikön toimisto sijaitsee samassa huoneistoryppäässä. Kotihoidon yksikkö on jaettu kolmeen erilliseen tiimiin, joka muodostuu yhdestä tiimin johtajasta sekä 3–4 sairaanhoitajasta. Kaikki tiimin jäsenet osallistuivat tutkimukseen.

Älykoti järjestelmässä jokaiseen asunnon huoneeseen sijoitettiin passiivinen infrapunatunnistin ja ulko ovessa oli anturi (Kuva 4.1). Tämä järjestely auttoi sairaanhoitajia valvomaan liikkumistapoja (vierailut kylpyhuoneessa, vietetty aika vuoteessa) ja tunnistamaan poikkeavia käyttäymismalleja. Välttääkseen kaapeleiden vetoa asuntoihin, järjestelmä muodostui langattomasta sensoriverkosta, jossa jokainen sensorinoodi viestii langattomasti sink-noodin kautta. Sink-noodi on puolestaan yhteydessä yhdyskäytävään, jonka kautta se pystyy lähettämään tutkittavan tiedon sisäverkon ulkopuolella olevalle palvelimelle. Liike ja oven aukaisu tiedot lähetetään ensin 802.15.4-radion avulla yhdyskäytävälle ja sieltä sisäverkon ulkopuoliselle palvelimelle, joko Wifi, LoRa-radion tai 3G/4G-yhteyden kautta.

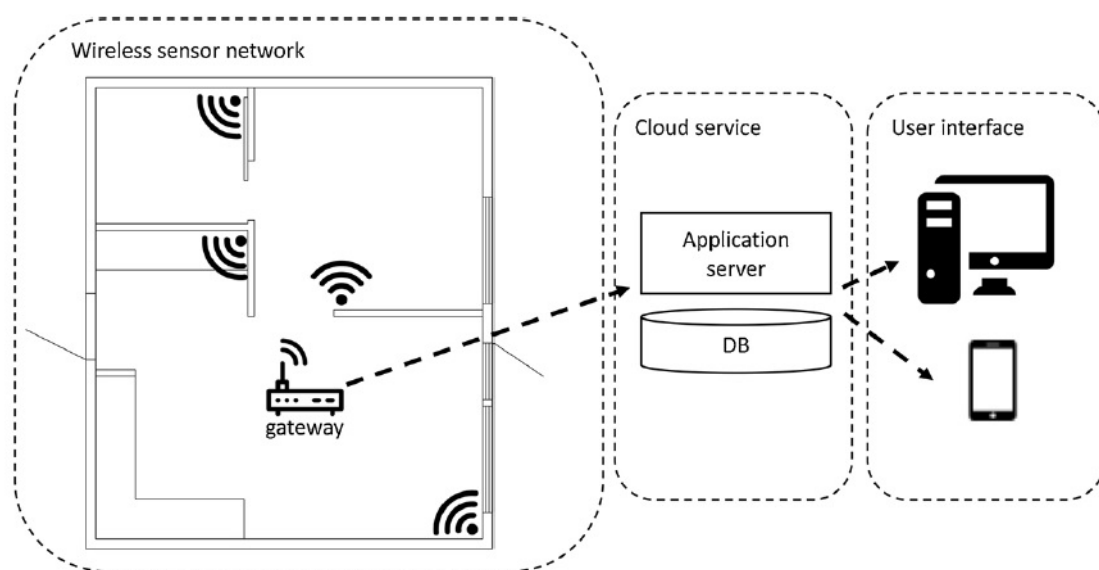
Kokkolan älykodin aktiivisuuden seuranta on esimerkki lyhyen kantaman radion sovelluksesta. Älykodin langattomat sensorinoodit perustuvat Kokkolan Yliopistokeskus Chydeniuksen kehittämälle CiNetNodeV3 (2013) alustalle, josta on olemassa eri versiot sekä 868 MHz:n että 2,4 GHz:n radioille [15]. Sensorinoodi perustuu Atmel 2,4 GHz:n ZigBit langattoman sensoriverkon moduuliin, joka sisältää lyhyen kantaman verkoille soveltuvan Atmel AT86RF230 radiolähttimen sekä Atmel ATmega1281V -mikrokontrollerin. Sensorinoodin voi myös lisätä Panasonicin PIR anturin. Sensorinoodit rakentuvat taulukon 4.1 mukaisista komponenteista. Sensorinoodit ovat passiivisilla infrapuna-anturilla, 802.15.4 radiolla (868MHz tai 2,4 GHz) ja paristolla varustettuja laitteita, joiden laskennallinen toiminta-aika, on useita vuosia. Yhdyskäytävät on varustettu LoRa-radiolla.

Datan analysointikomponentti prosessoi datan ja tunnistaa erilaiset aktiviteetit [36]. Näihin kuuluu sekä asunnon ulkopuolella ja asunnon eri huoneissa (vuode, kylpyhuone, keittiö ja olohuone) vietetyt ajat että kylpyhuoneessa ja asunnon

Taulukko 4.1: Käytetty laitteisto sensorinoodeissa

Nimi	Tyyppi
Emolevy	Atmel 2,4 GHz ZigBit moduuli
Mikro-kontrolleri	Atmel ATmega1281V
RF lähetin-vastaanotin	Atmel AT86RF230
Flash muisti	128 KB
RAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Liikesensori	Panasonic EKMB1103111 PIR sensor
Ovianturi	AMS-38 reed switch
Kosteus- ja lämpötila anturi	SHT15

ulkopuolelle tapahtuneet käyntien lukumäärät. Prossessoitu data näytetään www-liittymän kautta. Sairaanhoidajilla/ lähihoitajilla on pääsy valvontajärjestelmään. Kirjautumalla sisään järjestelmään, hoitaja voi seurata vanhuksen aktiviteetteja viimeisen päivän/viikon/kuukauden ajalta. Tämän lisäksi hoitajat saavat tekstiviestin kännykkään joka aamu työvuoron alussa. Tekstiviesti sisältää jokaisesta vanhuksesta tiedon, onko hän ollut poissa asunnosta yön aikana ja onko hän saapunut takaisin asuntoon.



Kuva 4.1: Kuva Kokkolan älykoti järjestelmän arkkitehtuurista [40]

Sairaanhoidajat ja lähihoitajat ovat läsnä aamu seitsemän ja iltä kymmenen välisenä aikana, mutta eivät yöllä. Tästä johtuen hoitajat kaipasivat tietoa vanhuksen yö ajan aktiviteeteista anturidatan kautta. Suurin pelko oli että, ikäihminen lähtee ulos asunnosta ja rakennuksesta eikä enää löydä takaisin.

Kuten tuli aikaisemmin mainittua, Kokkolan älykodin aktiivisuuden seuranta on lyhyen kantaman radion sovellus (vrt. 3.2 Lyhyen kantaman verkkoihin liittyvät sovellukset). Tämän työn tarkoituksena on selvittää, että voidaanko Kokkolan älykoti ratkaisuun lisätä myös pitkän kantaman radio sovellus eli vanhuksen paikantaminen siten, että kun asukas lähtee kävelemään ulos talosta, niin hänen sijaintitietoja talon ulkopuolella voidaan seurata. Erityisesti jos muistisairas poistuu yöllä talosta, niin tieto poistumisesta välittyy hoitajalle ja muistisairas saadaan haettua takaisin lämpimään kotiinsa.

4.1 Tutkimusongelma

Tutkimusongelmana on rakennuksen ulkopuolelle menneen ikäihmisen paikantaminen. Ongelma pyritään ratkaisemaan sijoittamalla paikallistamisen mahdollistama laite ikäihmisen mukaan. Tähän tarkoitukseen on valittu GPS-paikantimella varustettu LoRa-lähetin. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää ovatko tutkimukseen valitut kolme laitetta käyttötarkoitukseen soveltuvat tiedonsiirron luetettavuuden ja tarkkuuden puolesta. Selvityksessä otetaan huomioon myös laitteiden käytettävyystekijät, joihin kuuluu mm. laitteiden koko, akun kesto ja latausajat.

4.2 Laitteet

Testauslaitteina toimivat kolme erilaista laitetta, jotka pitävät LoRan ja GPS:n sisällänsä. Asukas voi pitää esimerkiksi laitteita kaulalla roikkumassa tai muulla tavalla mukanaan. Kaikki mukaan valitut laitteet ovat Zane Systemsin tuotteita. Nämä kaikki kolme laitetta sisältävät myös lämpötila- ja kiihtyvyyssensorin. Kun kohde on paikallaan, laite menee lepotilaan. Kun kiihtyvyyssensori havaitsee liikettä, aktivoidaan GPS. Levossa ollessaan kaikki nämä laitteet lähettävät säännöllisin väliajoin *keepalive* -viestejä yhdyskäytävälle. Käyttäjä voi määritellä laitteiden *keepalive* lähetysvälin. Laitteella 1 ja 2 lähetysväliä voi vaihdella viidestä minuutista päivään, kun taas laitteella 3 lähetysväli on puolesta tunnista päivään. Kaikilla laitteilla oletus lähetysväli on tunti. Taulukosta 4.2 löytyvät tiedot eri laitteiden ja snifferrin latauksista ja kestoista. Taulukosta 4.3 löytyvät tiedot eri laitteiden ja snifferrin pattereista, mitoista, herkkyksistä, painoista ja IP-luokituksista.

Laite 1 (kuva 4.2) on zTrack Mini LoRa GPS Tracker EU868 [45]. Laitteen voi ainoastaan ladata micro USB-johdolla. Laitteen lataaminen kestää noin tunnin. Laitteessa on sisäänrakennettu antenni ja laitteen herkkyys on -141 dBm. Laite painaa 25 grammaa. Laitteella on IP67 luokitus, joka tarkoittaa, että laite on täysin suojattu pölyltä ja lyhytaikaiselta upotukselta korkeintaan yhteen metriin.

Laite 2 (kuva 4.2) on zTag [45]. Laitteen voi ainoastaan ladata langattomasti Qi latausalustalla. Laitteen lataaminen kestää noin tunnin. Laitteessa on sisäänrakennettu antenni ja laitteen herkkyys on -141 dBm. Laite painaa 25 grammaa. Laitteella on IP69K luokitus, joka tarkoittaa, että laite on täysin suojattu pölyltä ja on suunniteltu korkeapaineiselle ja kuumalle vesisuihkulle altistuvia laitteita varten. Luku 9 tarkoittaa suojausta lähietäisyydeltä tehtyä korkeapaineista huuhtelua vastaan ja K

viittaa huuhteluveden korkeaan lämpötilaan.

Laite 3 (kuva 4.3) on zTrack Pro [90]. Laitteen voi ainoastaan ladata langattomasti Qi latausalustalla. Laitteen lataaminen kestää noin kaksi tuntia. Laitteessa on sisäänrakennettu antenni ja laitteen herkkyys on -141 dBm. Laite painaa 25 grammaa. Laitteella on IP65 luokitus, joka tarkoittaa, että laite on täysin suojattu pölyltä ja joka suunnasta alhaisella paineella tulevalta suihkuavalta vedeltä.

Näiden kolmen laitteen lisäksi, mukana on myös snifferi Adeunis network tester FTD, joka toimii referenssilaitteena [3]. Tämä laite myös sisältää LoRan ja GPS:n. Snifferissä on pidempi kantama. Snifferi myös näyttää näyttöruudulla GPS-paikan, kun taas laitteiden GPS-paikat saadaan luettua Wireless Loggerilla. Snifferistä on kuva 4.3. Snifferin voi ladata micro USB-johdolla. Laitteen lataaminen voi kestää kolmesta kuuteen tuntiin. Laitteessa on ulkoinen antenni ja laitteen herkkyys on -140dBm. Laite painaa 140 grammaa.

Laitteet välittävät paikkatietonsa LoRa yhdyskäytävän kautta LoRa palvelimelle, josta laitteiden välittämät tiedot ovat luettavissa Wireless Logger -ohjelmistolla. Wireless Logger työkalulla voidaan selvittää erilaisia asioita, kuten laitteen sijainti tiettyinä aikoina tai tukiaseman saama signaalin voimakkuus. Kuvassa 4.4 on kuvakaappaus Wireless Logger käyttöliittymästä. Network Survey työkalulla voidaan selvittää tukiasemien määrä ja paikka tietyllä alueella. Kuvassa 4.5 on esitelty Network Survey työkalun käyttöliittymä.

Wireless Logger käyttöliittymästä voidaan valita etsittävä laite DevEUI Filtering kenttään. Haettavan laitteen aika ja päivämäärä tieto voidaan tarkentaa From ja To kenttiin. Koska laitteet eivät ole tuettu koodauksen purkamisen osalta, tulee Decoder kenttään vaihtoehto No decoding. Snifferin osalta haku menetelmä on melkein sama, mutta Adeunis on tuettujen laitteiden listalla ja tällöin on mahdollista valita Decoder kenttään vaihtoehto Adeunis LoRaWAN FTD. Wireless Logger työkalulla voi myös varmuuskopioida laitteen datan myöhempää tutkimista varten Export painikkeella.

4.3 Mittauspaikat

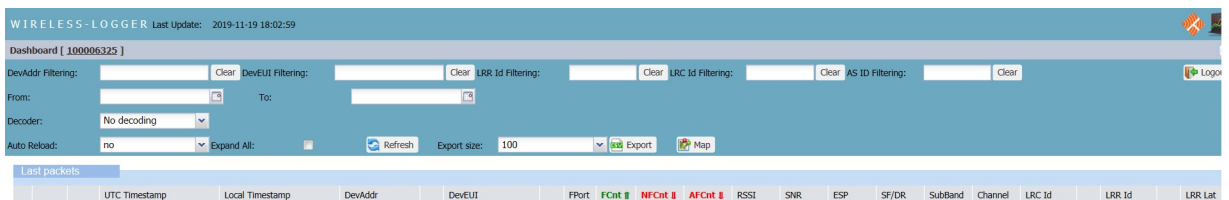
Ajatuksena oli testata näiden kolmen erilaisen laitteen soveltuvuus asukkaan paikallistamiseen ulkotiloissa. Laitteiden testaus suoritetaan tekemällä testauskävelyjä kahdella erilaisella kävelyreitillä, joista toinen oli Turun keskustassa ja toinen Salossa.



Kuva 4.2: Vasen kuva on laitteesta zTrack Mini LoRa GPS Tracker EU868 (laite 1) ja oikea kuva on laitteesta zTag (laite 2)



Kuva 4.3: Vasen kuva on laitteesta zTrack Pro (laite 3) ja oikea kuva on Adeunis network tester FTD (snifferi)



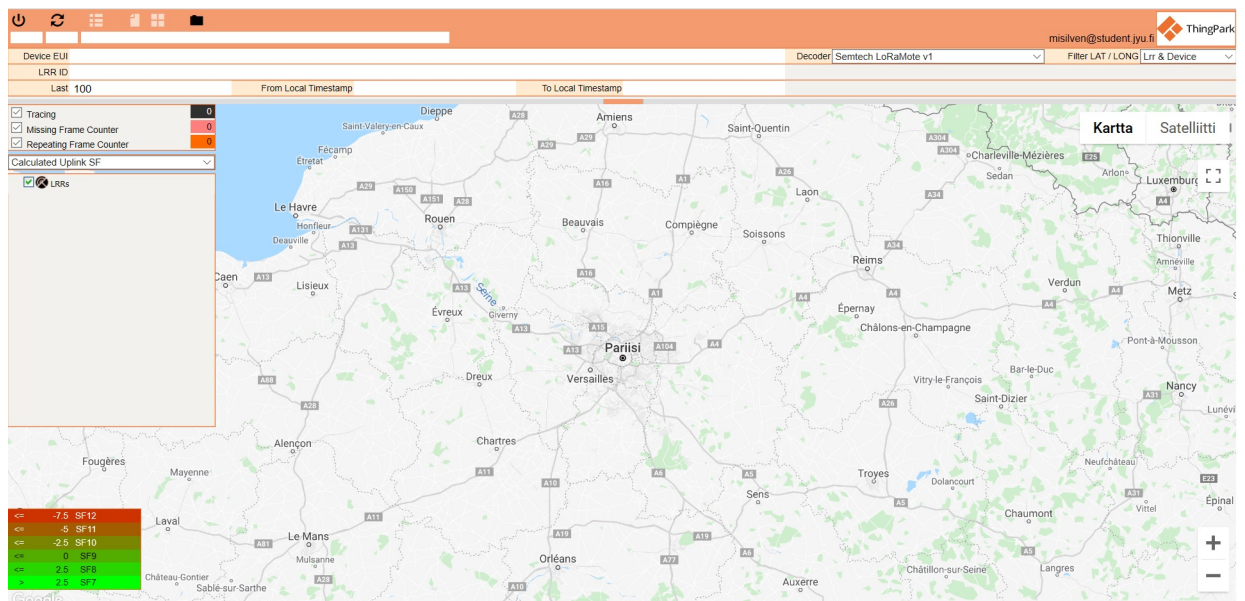
Kuva 4.4: Wireless Logger työkalun käyttöliittymä

Taulukko 4.2: Tietoja laitteiden ja snifferin latausajoista sekä kestoista

Laite	Latausaika (mitattu)	Latausaika (speksin mukaan)	Latauksen kesto (mitattu)	Latauksen kesto (speksin mukaan)
zTrack mini	noin 1h	1h	21 päivää	4 viikkoa
zTag	noin 1h	1h	17 päivää	4 viikkoa
zTracker Pro	noin 2h	1h	3-7 päivää	2 viikkoa
Adeunis network tester FTD	noin 3h	6h (jos täysin tyhjä)	2-3 päivää	Muutamia tunteja

Taulukko 4.3: Tietoja laitteiden ja snifferin pattereista, mitoista, herkkyysistä, painoista ja IP-luokituksista

Laite	Patteri	Mitat	Herkkyys	Paino	IP-luokitus
zTrack mini	250mAh Li-Po	65 x24x14 mm	-141dBm	25g	IP67
zTag	250mAh Li-Po	50 x43x9 mm	-141dBm	25g	IP69K
zTracker Pro	Li-Po	53 x39x15 mm	-141dBm	25g	IP65
Adeunis network tester FTD	2Ah Li-Po	180x72x21 mm	-140dBm	140g	-

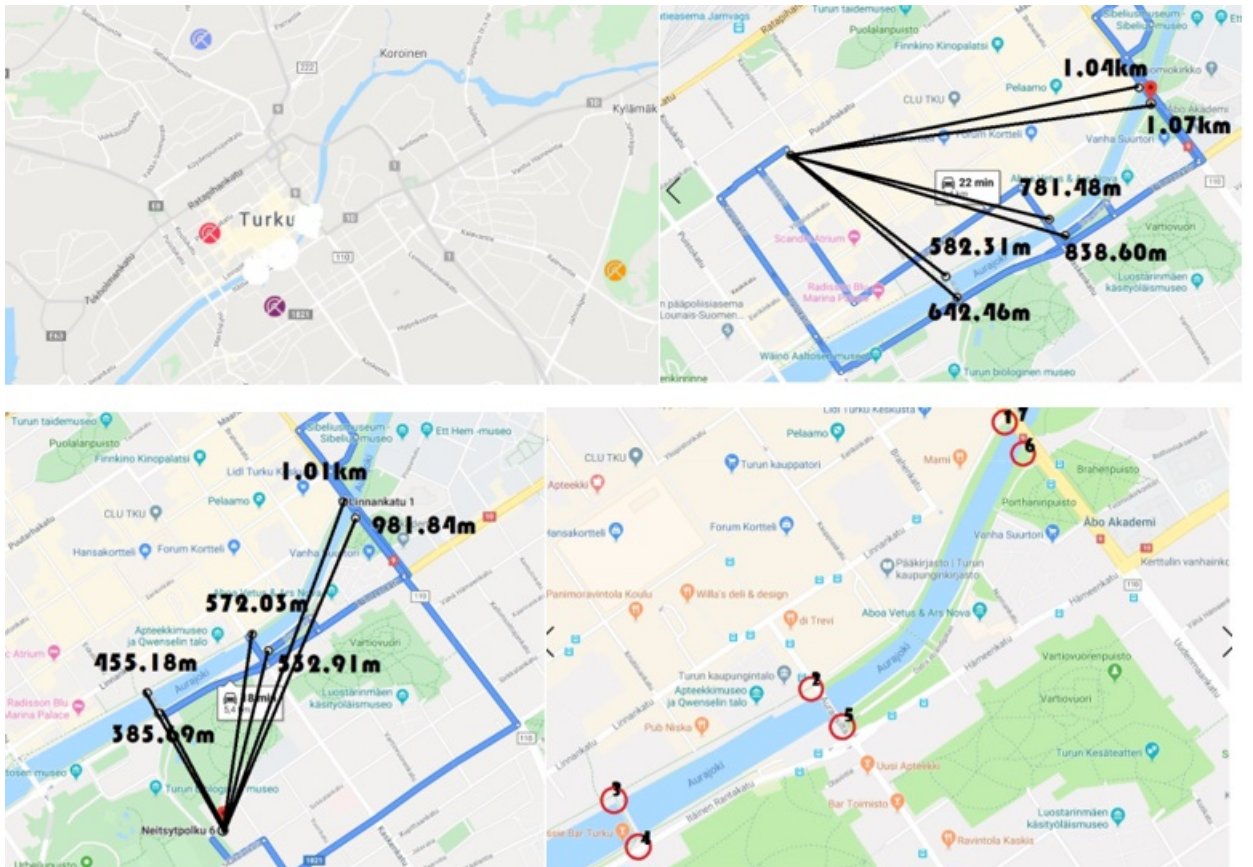


Kuva 4.5: Network Survey työkalun käyttöliittymä

Turun kävelyreitti sijaitsee kaupungin keskustan Aurajoen rannan ympäristössä. Tämän reitin lähiympäristöstä löytyy neljä tukiasemaa (kuva 4.6). Lähimmät tukiasemat ovat kuvassa olevat violetti ja punainen tukiasema. Kuvassa 4.6 on näkyvissä violetin tukiaseman eli Annankadulla olevan tukiaseman etäisyydet mittauspaikkoihin. Vastaavasti kuvassa 4.6 on punaisen tukiaseman etäisyydet mittauspaikkoihin. Vaikka punainen tukiasema vaikuttaa olevan mittauspaikkoja lähimpänä, niin Wireless Loggerin data paljastaa, että suurin osa liikenteestä tapahtuu violetin tukiaseman kautta.

Reitti muodostuu seitsemästä mittauspaikasta ja reitin testauskävely kestää noin tunnin (kuva 4.6). Reitti lähtee liikkeelle lähtöpisteestä 1 ja päättyy samaan kohtaan pisteessä 7. Mittauspaikat sijaitsevat siltojen lähistöllä (kuva 4.7). Ensimmäinen mittauspaikka sijaitsee Linnankadun alkupäässä lähellä Tuomiokirkkosiltaa. Toinen mittauspaikka on Auransillan lähellä. Kolmas mittauspaikka on Läntisen rantakadun ja Teatterisillan kupeessa. Neljäs mittauspaikka on Teatterisillan vastakkaisella puolella Itäisellä Rantakadulla. Viides mittauspaikka on Auransillan vastakkaisella puolella Itäisellä Rantakadulla. Kuudes mittauspaikka sijaitsee vastaavasti Tuomiokirkkosillan vastakkaisella puolella Itäisellä Rantakadulla. Seitsemäs mittauspaikka on sama kuin lähtöpiste.

Toinen kävelyreitti on keskustan ulkopuolella Salossa, jonka lähiympäristössä



Kuva 4.6: Vasemmassa kuvassa ylärivillä on Turussa olevien tukiasemien sijainti. Oikean puolella yläkuvassa on Turussa olevan toiseksi lähimmän tukiaseman etäisyydet mittauspaikkoihin. Alemmassa kuvassa vasemalla on Turussa olevan lähimmän tukiaseman etäisyydet mittauspaikkoihin. Oikean puolimmaisessa alakuvassa on Turussa olevan kävelyreitit mittauspaikat



Kuva 4.7: Kuvassa on Turussa sijaitsevan kävelyreitän mittauspaikkojen kuvia. Ensimmäisen rivin kaksi ensimmäistä kuvaa sisältävät ensimmäisen mittauspaikan näkymät vasemmalle ja oikealle päin. Samalla rivillä olevat kaksi viimeistä kuvaa sisältävät toisen mittauspaikan näkymät vasemmalle ja oikealle. Samalla tavoin toisen rivin kaksi ensimmäistä kuvaa liittyvät mittauspaikkaan kolme ja kaksi viimeistä kuvaa mittauspaikkaan neljä. Kolmannella rivillä vastaavasti kaksi ensimmäistä kuvaa liittyvät mittauspaikkaan viisi ja kaksi jälkimmäistä mittauspaikkaan kuusi

on neljä tukiasemaa (kuva 4.8). Suurin osa laitteiden ja tukiasemien välisestä tiedonsiirrosta tapahtuu kahden lähimmän tukiaseman kautta (keltainen ja violetti). Kuvassa 4.8 on nähtävissä keltaisen tukiaseman etäisyydet mittauspaikkoihin. Vastaavasti kuvassa 4.8 on näkyvissä violetin tukiaseman etäisyydet tukiasemiin. Vaikka violetti tukiasema on lähempänä mittauspaikkoja, niin Wireless Loggerin data paljastaa, että suurin osa liikenteestä tapahtuu keltaisen tukiaseman kautta.

Salon reitti sisältää myös seitsemän mittauspaikkaa ja reitin kävely kestää noin tunnin (kuva 4.8). Mittauspaikat (kuva 4.9) on pyritty valitsemaan teiden risteyskohdista. Ensimmäinen mittauspaikka sijaitsee osoitteessa Majavankatu 2. Toinen mittauspaikka on Majavankadun ja Otsonkadun risteyksessä. Kolmas mittauspaikka on Helsingintien vieressä olevan kävelytien ja Otsonkadun risteyksessä. Kuvaan piirretty musta nuoli osoittaa tukiasemaan kohti. Neljäs mittauspaikka on lähellä Helsingintien ja Tahkonkadun risteyskohtaa. Äskeisessä mittauspaikan kolme kuvassa olevan tukiaseman voi vielä nähdä mittauspaikassa neljä. Viides mittauspaikka löytyy Karjaskylänkadun ja Hirvenkadun läheisyydestä. Kuudes mittauspaikka on sama kuin toinen mittauspaikka ja seitsemäs päätepiste on sama kuin lähtöpiste.

4.4 Mittauksen toteutus

Testauksen tarkoituksena on selvittää, saadaanko paikkatiedot näkyviin riittävällä tarkkuudella ja luotettavuudella. Testauskävelyn aikana kolmea laitetta kannetaan kaulassa takin ulkopuolella. Testaus aloitetaan menemällä lähtöpisteeseen ja odottelemalla muutama minuutti, jotta laitteet saavat GPS-yhteyden tukiasemaan. Tämän jälkeen snifferi laitetaan päälle ja odotetaan hetki, että se on saanut GPS-yhteyden. Kun snifferi on saanut GPS-yhteyden satelliittiin, niin painetaan skannauspainiketta. Otetaan talteen kellonaika, lähetysteho ja paikkatieto. Toistetaan prosessi samassa pisteessä viisi kertaa. Tämän jälkeen kävellään toiseen mittauspaikkaan ja pysähdytään. Toistetaan sama prosessi kuin lähtöpisteessä ja saadaan GPS-arvo toiselle mittauspaikalle. Käydään läpi seitsemän mittauspaikkaa ja kaikista saadaan viisi GPS-arvoa. Snifferin arvoja käytetään yhdessä kartalta määriteltyn sijainnin kanssa kolmen testilaitteen antamien sijaintien referenssiarvoina.

Kolmen laitteen sijaintia haettaessa, aloitetaan ensin tarkistamalla, mikä on ollut skannausaika mittauspaikassa. Kun ensimmäinen mittauspaikan skannausaika on selvillä, selvitetään laitteen GPS-sijainti Wireless loggerin avulla kyseisenä aikana.



Kuva 4.8: Vasemmassa yläkuvassa on Salossa olevien tukiasemien sijainnit. Oikeassa yläkuvassa on näkyvissä Salossa sijaitsevan kävelyreitit mittauspaiikat. Näiden kahden kuvan alapuolella olevassa keskimmaisessä kuvassa on Salossa toiseksi lähimmän tukiaseman etäisyydet mittauspaiikkoihin. Alimmassa kuvassa on Salossa lähimmän tukiaseman etäisyydet mittauspaiikkoihin



Kuva 4.9: Kuvassa on Salossa sijaitsevan kävelyreitin mittauspaiikkojen kuvia. Ensimmäisen rivin kaksi ensimmäistä kuvaa sisältävät ensimmäisen mittauspaiikan näkymät vasemmalle ja oikealle päin. Samalla rivillä olevat kaksi viimeistä kuvaa sisältävät toisen mittauspaiikan näkymät vasemmalle ja oikealle. Samalla tavoin toisen rivin kaksi ensimmäistä kuvaa liittyvät mittauspaiikkaan kolme ja kaksi viimeistä kuvaa mittauspaiikkaan neljä. Kolmannella rivillä vastaavasti kaksi ensimmäistä kuvaa liittyvät mittauspaiikkaan viisi.

Sama kävelyreitti on toistettu kolme kertaa samana päivänä. Eri kävelyjen kävelyreittien ajat ovat tapahtuneet noin kahden tunnin välein. Molemmissa eri kävelyreiteissä sekä Turussa että Salossa on lähtö- ja loppupiste sama. Paikannus tehdään laitteen GPS:n avulla ja laitteen data välitetään LoRan avulla eteenpäin. Aluksi on tarkistettu vaihtelevatko snifferin antamat GPS-arvot reitin mittauspaikoissa.

4.5 Tulokset

Taulukoissa 4.4 ja 4.5 on yhdistetty laitteen 1 kolme kävelyä Turussa ja vastaavasti Salossa. Taulukon toisessa sarakkeessa *Keskim. RSSI* on tukiaseman vastaanotetun RSSI-signaalin voimakkuus. Koska nämä arvot ovat vaihdelleet eri kävelyillä, on näistä laskettu keskiarvo. Kolmannessa sarakkeessa *GPS* on laitteen GPS-arvo, joka on muunnettu heksadesimaalimuotoisesta datasta. Neljännessä sarakkeessa on toistojen lukumäärä. Koska alkupiste ja päätepiste ovat samat, niin Turun ensimmäisessä pisteessä tulee kaksinkertainen määrä toistoja. Viides sarake *Huomioita poikkeamasta* kertoo kuinka moni GPS-arvo erosi toisistaan samassa mittauspaikassa. Kuudes sarake *Tarkka GPS* on määritelty Google Maps sovelluksen avulla. Seitsemäs sarake *Keskim. virhe* kertoo, kuinka paljon laitteen antama etäisyys poikkeaa tarkasta GPS-sijainnista. Näistä virheistä on laskettu keskiarvo. Viimeiseen sarakkeeseen *Keskihajonta* on laskettu virheiden keskihajonta. Taulukoihin 4.6 ja 4.7 sekä taulukoihin 4.8 ja 4.9 on vastaavalla tavalla yhdistetty laitteen 2 ja 3 tulokset Turun ja Salon kävelyreittien osalta. Taulukossa 4.10 on yhteenveto snifferin tiedoista Turussa 15.11.2019 suoritetusta kävelyreitistä. Toisessa sarakkeessa oleva GPS-arvo on selvitetty tukiaseman datasta. Taulukossa 4.11 on yhteenveto snifferin tiedoista 15.10.2019 Salossa suoritetusta kävelyreitistä.

LoRa radion teoreettinen linkkibudjetin arvo on 155 dBm. Taulukoiden 4.3–4.8 perusteella kaikkien laitteiden mitatut RSSI arvot sekä Turussa että Salossa pysyvät alle -120 dBm eli niiden voidaan katsoa olevan hyväksyttävällä tasolla. Parhaimman kuuluvuuden omaa laite 1, jonka mitattujen RSSI arvojen keskiarvo Turussa oli -106 ja Salossa -112. Huonoimman kuuluvuuden omaa vastaavasti laite 3, jonka RSSI arvojen keskiarvo Turussa oli -113 ja vastaavasti Salossa -115.

Taulukoiden 4.9–4.10 perusteella sniffereiden mitatut RSSI arvot olivat Turussa ja Salossa reilusti alle -120 dBm eli niiden voidaan katsoa olevan hyväksyttävällä tasolla. Mitattujen RSSI arvojen keskiarvo Turussa oli -95 ja Salossa -105. Vaikka laitteen spekseissä herkkyydeksi oli mainittu -140dBm, niin ulkoinen antenni parantaa

huomattavasti kuuluvuutta.

Taulukoiden 4.3–4.8 perusteella kaikkien laitteiden tarkkuuden keskimääräinen virhe jäi alle 50 metriin Turussa ja Salossa (puhelintolppien väli), joten ne ovat riittävän tarkkoja kadonneen vanhuksen paikantamiseen. Tarkimmaksi laitteeksi osoittautui laite 1, jonka keskimääräinen virhe Turussa oli 9,17 metriä ja Salossa 8,46 metriä. Epätarkimmaksi osoittautui laite 3, jonka keskimääräinen virhe Turussa oli 48,62 metriä ja Salossa 34,50 metriä. Taulukoiden 4.9–4.10 perusteella sniffereiden keskimääräiset virheet Turussa ja Salossa olivat erittäin hyvät. Keskimääräiset virheet jäivät sekä Turussa että Salossa alle kymmenen metrin.

Parhaimmaksi laitteeksi osoittautui laite 1 eli zTrack Mini. Tämä laite saavutti parhaimman tarkkuuden ja sen kuuluvuus tukiasemassa oli myös paras. Huonoimmaksi laitteeksi osoittautui laite 3 eli zTrack Pro. Tämä laite oli epätarkin, mutta sillä pystytään silti paikallistamaan kohde riittävällä tarkkuudella. Laitteen 3 kuuluvuus sekä Turussa että Salossa oli melkein samaa luokkaa kuin laitteella 2. Laitteiden signaalien kuuluvuus tukiasemissa Turussa oli parempi kuin Salossa. Tähän varmasti vaikuttaa sekin, että mittauspaikkojen etäisyys tukiasemista on suurempi Salossa kuin Turussa.

Taulukko 4.4: Turussa 30.09.2019 suoritetun kävelyreitit laitteen 1 tiedot.

Paikka	Keskim. RSSI	GPS	Toistojen lkm	Huomioita poikkeamista	Tarkka GPS	Keskim. virhe	Keskijajonta
1	-107	(60.452424, 22.274721)	6	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.452298, 22.274432)	9,95m	6,63m
2	-98,67	(60.448894, 22.269657)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.448845, 22.269627)	14,85m	15,28m
3	-107,33	(60.447371, 22.264056)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.447332, 22.264102)	6,81m	4,84m
4	-103,67	(60.446813, 22.264721)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.446793, 22.264701)	5,07m	5,02m
5	-108	(60.448433, 22.270408)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.448414, 22.270506)	6,02m	0,81m
6	-111	(60.451845, 22.275043)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.451878, 22.275081)	12,34m	10,78m
						9,17m	

Taulukko 4.5: Salossa 15.10.2019 suoritetun kävelyreitit laitteen 1 tiedot.

Paikka	Keskim. RSSI	GPS	Toistojen lkm	Huomioita poikkeamista	Tarkka GPS	Keskim. virhe	Keskijajonta
1	-113,33	(60.382257, 23.154700)	6	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.382254, 23.154561)	11,17m	11,64m
2	-107,67	(60.381893, 23.155644)	6	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.381865, 23.155527)	12,00m	13,68m
3	-111,67	(60.387053, 23.159313)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.387119, 23.159266)	4,56m	3,29m
4	-113,67	(60.386549, 23.143478)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.386569, 23.143516)	9,98m	7,28m
5	-113	(60.380369, 23.150130)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.380346, 23.150125)	4,61m	2,77m
						8,46m	

Taulukko 4.6: Turussa 30.09.2019 suoritetun kävelyreitit laitteen 2 tiedot.

Paikka	Keskim. RSSI	GPS	Toistojen lkm	Huomioita poikkeamista	Tarkka GPS	Keskim. virhe	Keskijajonta
1	-115	(60.452263, 22.274163)	6	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.452298, 22.274432)	30,44m	30,18m
2	-113,67	(60.448647, 22.269013)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.448845, 22.269627)	29,82m	8,67m
3	-113,5	(60.447306, 22.263734)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.447332, 22.264102)	50,09m	61,28m
4	-112	(60.446791, 22.264979)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.446793, 22.264701)	29,67m	12,58m
5	-109,67	(60.448476, 22.270622)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.448414, 22.270506)	11,75m	6,12m
6	-108,67	(60.451877, 22.274978)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.451878, 22.275081)	56,73m	47,95m
						34,75m	

Taulukko 4.7: Salossa 15.10.2019 suoritetun kävelyreitit laitteen 2 tiedot.

Paikka	Keskim. RSSI	GPS	Toistojen lkm	Huomioita poikkeamista	Tarkka GPS	Keskim. virhe	Keskijajonta
1	-116,33	(60.382386, 23.154271)	6	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.382254, 23.154561)	30,70m	19,06m
2	-116,17	(60.381968, 23.155494)	6	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.381865, 23.155527)	13,76m	5,29m
3	-117	(60.387289, 23.159249)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.387119, 23.159266)	27,31m	23,16m
4	-109	(60.386763, 23.144465)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.386569, 23.143516)	32,39m	21,20m
5	-116,33	(60.380369, 23.149829)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.380346, 23.150125)	20,82m	8,01m
						25,00m	

Taulukko 4.8: Turussa 30.09.2019 suoritetun kävelyreitit laitteen 3 tiedot.

Paikka	Keskim. RSSI	GPS	Toistojen lkm	Huomioita poikkeamista	Tarkka GPS	Keskim. virhe	Keski-hajonta
1	-114,67	(60.452274, 22.273927)	6	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.452298, 22.274432)	30,89m	17,42m
2	-114,67	(60.449109, 22.269936)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.448845, 22.269627)	85,44m	51,06m
3	-112	(60.448229, 22.265987)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.447332, 22.264102)	58,64m	73,24m
4	-111	(60.446963, 22.264507)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.446793, 22.264701)	21,28m	3,75m
5	-112	(60.449463, 22.268519)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.448414, 22.270506)	64,87m	80,90m
6	-115	(60.451834, 22.275214)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.451878, 22.275081)	30,59m	35,72m
						48,62m	

Taulukko 4.9: Salossa 15.10.2019 suoritetun kävelyreitit laitteen 3 tiedot.

Paikka	Keskim. RSSI	GPS	Toistojen lkm	Huomioita poikkeamista	Tarkka GPS	Keskim. virhe	Keski-hajonta
1	-116,17	(60.382268, 23.154722)	6	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.382254, 23.154561)	67,28m	104,31m
2	-114,17	(60.381882, 23.155473)	6	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.381865, 23.155527)	29,18m	40,71m
3	-114	(60.386699, 23.159120)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.387119, 23.159266)	37,36m	8,57m
4	-113	(60.386581, 23.143692)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.386569, 23.143516)	13,36m	12,94m
5	-116	(60.379800, 23.150645)	3	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.380346, 23.150125)	39,36m	24,74m
						34,50m	

Taulukko 4.10: Turussa 15.11.2019 suoritetun kävelyreitän snifferin tiedot.

Paikka	Keskim. RSSI	GPS	Toistojen lkm	Huomioita poikkeamista	Tarkka GPS	Keskim. virhe	Keskijointa
1	-104	(60.452267, 22.274333)	10	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.452298, 22.274432)	6,77m	1,18m
2	-87,2	(60.448867, 22.2695)	5	Neljä erilaista GPS-arvoa	(60.448845, 22.269627)	7,28m	0,40m
3	-93,6	(60.447267, 22.264)	5	Neljä erilaista GPS-arvoa	(60.447332, 22.264102)	7,31m	1,76m
4	-92,8	(60.446783, 22.264667)	5	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.446793, 22.264701)	2,32m	0,60m
5	-91	(60.4484, 22.270333)	5	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.448414, 22.270506)	9,77m	0,37m
6	-101	(60.45185, 22.275)	5	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.451878, 22.275081)	8,35m	4,17m

Taulukko 4.11: Salossa 15.10.2019 suoritetun kävelyreitän snifferin tiedot.

Paikka	Keskim. RSSI	GPS	Toistojen lkm	Huomioita poikkeamista	Tarkka GPS	Keskim. virhe	Keskijointa
1	-108,63	(60.38225, 23.1545)	30	Kahdeksan erilaista GPS-arvoa	(60.382254, 23.154561)	4,29m	0,95m
2	-103,3	(60.381867, 23.1555)	30	Kolme erilaista GPS-arvoa	(60.381865, 23.155527)	1,85m	0,38m
3	-98,93	(60.3871, 23.159167)	15	Neljä erilaista GPS-arvoa	(60.387119, 23.159266)	5,95m	0,52m
4	-100,27	(60.386567, 23.1435)	15	Kuusi erilaista GPS-arvoa	(60.386569, 23.143516)	3,71m	3,54m
5	-112,13	(60.380333, 23.150167)	15	Neljä erilaista GPS-arvoa	(60.380346, 23.15125)	5,51m	2,25m

4.6 Laitteiden soveltuvuus rakennuksen ulkopuolelle menneen muistisairaahan vanhuksen paikantamiseen

Tarkastellaan aluksi minkälaisia laitteiden tulisi olla, jotta ne soveltuisivat hyvin muistisairaahan vanhuksen paikantamiseen. Ensimmäinen varmastikin hyvin tärkeä ominaisuus on signaalin riittävän hyvä kuuluvuus tukiasemalle. Tämä ratkaisee laitteen luotettavuuden. Tämä myös vaikuttaa siihen, kuinka tiheäksi tukiasema verkosto pitäisi rakentaa, jotta laite olisi mahdollisimman luotettava eri sijaintipaikoissa. Tässä kohtaa kiinnostavaa on myös se, kuinka kaukaa laite voi vielä saavuttaa tukiaseman riittävän hyvällä kuuluvuudella. Toinen tärkeä asia on laitteen tarkkuus. Olisi ainakin hyvä, että laite pystyy paikantamaan vanhuksen riittäväällä etäisyydellä ja ei tule liian suurilla heittoa suhteessa todelliseen sijaintipaikkaan. Kolmas tärkeä asia on laitteen akun kesto. Jos laitteen akun kesto on liian lyhyt, sitä joudutaan lataamaan liian usein. Liian usein tehtävät lataukset saattavat johtaa siihen, että laite unohdetaan ladata. Neljäs tärkeä asia on laitteen latausaika. Jos laitteen latausaika on liian pitkä, ei hoitaja ehdi ladata sitä vanhuksen luona vierailuajana. Viides tärkeä asia on laitteen helppo mukana pito eli laite on oltava helppo pitää mukana kävellessä ja se ei saa hankaloittaa liikkumista.

Kaikkia testattavia laitteita, voidaan kantaa kaulassa. Kaikki laitteet ovat kevyitä kantaa (25 grammaa). Jokaisessa laitteessa on GPS-paikantimella varustettu LoRa-lähetin. Kaikki laitteet ovat myös sopivan pieniä mitoiltaan (Taulukko 4.3).

Jotta laite olisi luotettava, tulee sen signaalin kuulua tukiasemaan. Kaikkien laitteiden signaalin voimakkuus oli testauksessa suurempi kuin -120 dBm, joten laitteen kuuluvuus tukiasemaan jopa kahden kilometrin etäisyydeltä oli hyvä. Paras kuuluvuus oli laitteella 1 ja huonoin laitteella 3. Kuuluvuus kaikkien laitteiden osalta on riittävän hyvä vanhuksen paikantamiseen. Salossa isoin etäisyys tukiasemaan oli noin 2 kilometriä. Suoritin Salon ja Turun lisäksi vielä Liedossa erillisen kuuluvuuden mittauksen. Valitsin Liedosta kolme paikkaa, joista ensimmäinen oli noin 3,7 km:n etäisyydellä tukiasemasta. Seuraava paikka oli 4,2 km:n etäisyydellä tukiasemasta ja viimeinen paikka oli 5,4 km:n etäisyydellä tukiasemasta (Kuva 4.10). Kaikki laitteet antoivat sijaintipaikan jokaisessa kolmessa paikassa. Huonoin vastaanotetun signaalin voimakkuus oli -122 dBm.

Laitteen tulee olla myös riittävän tarkka, jotta vanhus saataisiin paikallistettua. Kohteen etsiminen on vielä helppoa sadan metrin säteellä, varsinkin jos maasto on avointa. Kaikkien laitteiden keskimääräinen virhe kohteeseen jäi alle 50 metrin, joka



Kuva 4.10: Laitteiden kuuluvuuden testaus Liedossa kolmessa erilaisessa paikassa, joiden etäisyydet tukiasemaan ovat 3,7 km, 4,2km ja 5,4 km.

on pahimmassakin tapauksessa riittävän hyvä tarkkuus vanhuksen paikallistamiseen hätätapauksessa. Laitteen 1 tarkkuus, joka jäi alle kymmenen metriä, oli erinomainen. Kaikki testatut laitteet soveltuvat tarkkuuden osalta vanhuksen paikantamiseen.

Jotta laite sopisi hyvin arkipäivän käyttöön, pitää laitteen akun kesto olla hyvä. Jos laitteen akun kesto on liian huono, joudutaan sitä lataamaan monta kertaa tietyllä aikavälillä. Paras latauksen kesto oli laitteessa 1, jossa se kesti 21 päivää. Laitteen 2 lataus kesti 17 päivää. Laitteen 3 latauksen kesto oli heikoin. Ensimmäisen kävelyn jälkeen laite 3 tyhjensi viikon jälkeen. Kävin kävelyllä Turussa ja laitteen 3 paristo tyhjensi neljässä päivässä. Toisaalta laite tuli tämän jälkeen ladattua uudestaan ja se tyhjensi kolmessa päivässä. Laitetta 3 joutuu täten lataamaan useammin kuin laitteita 1 ja 2. Kolmen tai neljän päivän latauksen kesto on liian vähän. Olisi hyvä jos laitteen latauksen kesto olisi ainakin vähintään viikon tai kahden viikon mittainen. Tässä suhteessa laitteen 3 latauksen kesto on pettymys.

Laitteen latausaika ei saa myöskään kestää liian kauan. Laitteen todennäköisesti lataa vanhuksen omainen tai hoitaja. Laite on voitava ladata esimerkiksi sinä aikana, jolloin kotihoitaja on vierailulla vanhuksen luona. Laitteen on oltava myös helposti ladattava. Testattavat laitteet sai ladattua joko mikro USB kaapelilla tai langattomal-

la Qi latausalustalla. Nopeimmin saa ladattua laitteet 1 ja 2, joiden lataamisaika on noin tunti. Hitain laite ladata, on laite 3, jonka lataamiseen näyttää menevän noin kaksi tuntia.

Laite 1 soveltuu kaikilta eri osilta vanhuksen paikantamiseen. Laite 2 täyttää myös hyvin edellä vaaditut vaatimukset. Laitteen 3 heikkoja puolia olivat akun kesto ja ehkä normaalia pidempi latausaika. Laite 3 oli epätarkin, mutta silti riittävän hyvä paikallistamiseen.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Työssä tarkasteltiin älykotijärjestelmiä, jotka tyypillisesti muodostuvat langattomista sensorinoodista. Langattomat sensorinoodit havainnoivat ja seuraavat ympäristönsä erilaisia tekijöitä. Älykoti on yleensä rakennettu käyttäen lyhyen kantaman langattomia sensoriverkkoja. Toisaalta, jos on tarve seurata asukkaan kulkemista asunnon ulkopuolella, lyhyen kantaman verkot eivät ole käyttökelpoisia. Joten kun älykodissa halutaan seurata asunnon ulkopuolella tapahtuvia asioita, kuten esimerkiksi liikkumista, kannattaa älykotiratkaisua laajentaa lisäämällä siihen pitkän kantaman langattomien sensoriverkkojen toteutus.

Terveydenhuollon älykoti palveluista päädyttiin ottamaan selvityksen kohteeksi vanhusten paikannuspalvelu. Vanhusten paikannuspalvelua varten tarvittiin pitkän kantaman langatonta sensoriverkkoteknologiaa. Olemassa olevista vaihtoehdoista LoRa osoittautui sopivimmaksi vaihtoehdoksi ominaisuuksiensa ja olemassa olevan hyvän infrastruktuurin johdosta. LoRan vahvuus löytyy vähäisestä virrankulutuksesta ja tarvittavasta pitkästä kantamasta. Koska sovellus ei vaadi isoa tiedonsiirtomäärää, sopii LoRa hyvin tähän tarkoitukseen.

Tutkimus toteutettiin testauksena, jossa arvioitiin kolmen paikannin laitteen soveltuvuus kuuluvuuden, tarkkuuden, akun keston, lataamisen ja laitteen mukana pidon osalta. Testaus toteutettiin kahdella eri paikkakunnalla Turussa ja Salossa. Turussa tukiasemaverkosto oli isompi ja tiheämpi, kun taas Salossa tukiasemia oli vähemmän. Näiden kahden paikan lisäksi suoritettiin radiokantaman testaus Liedossa.

Tutkimuksen testaus osoitti, että kaksi laitteista toteutti hyvin kaikki vaatimukset. Kolmannen laitteen akun kesto oli ongelmallinen. Lora-verkon avulla tapahtuvan vanhusten paikantaminen toimii hyvin, jos kaupungin tarjoaman LoRa-verkon tukiasemien määrä on riittävän tiheä. Testaus osoitti, että laitteiden etäisyyden ollessa vielä viisi kilometriä tukiasemasta, ovat laitteet vielä kuultavissa.

Tämän työn jatkokehityksenä voidaan rakentaa muistisairaana paikantamissovellus, jossa hoitaja voi www-käyttöliittymän kautta saada selville vanhuksen yön aikana tapahtuneen poistumisen rakennuksesta ja voi tarvittaessa tehdä hälytyksen ja selvittää vanhuksen sijainnin.

Lähteet

- [1] ABDALLAH, O., JA BOLZ, A. Adaptive filtering by non-invasive vital signals monitoring and diseases diagnosis. Kirjassa *Adaptive Filtering Applications*. IntechOpen, 2011.
- [2] ADAME, T., BEL, A., BELLALTA, B., BARCELO, J., JA OLIVER, M. Ieee 802.11 ah: the wifi approach for m2m communications. *IEEE Wireless Communications* 21, 6 (2014), 144–152.
- [3] ADEUNIS. Adeunis network tester ftd. URL <https://www.zane.hu/en/webshop/ztrack-pro/>, viitattu 16.11.2019.
- [4] AHMED, N., RAHMAN, H., JA HUSSAIN, M. I. A comparison of 802.11 ah and 802.15. 4 for iot. *ICT Express* 2, 3 (2016), 100–102.
- [5] ALLIANCE, L. White paper: A technical overview of lora and lorawan. *The LoRa Alliance: San Ramon, CA, USA* (2015).
- [6] AMIRIBESHELI, M., BENMANSOUR, A., JA BOUCHACHIA, A. A review of smart homes in healthcare. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 6, 4 (2015), 495–517.
- [7] AUGUSTIN, A., YI, J., CLAUSEN, T., JA TOWNSLEY, W. M. A study of lora: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors* 16, 9 (2016), 1466.
- [8] AWAD, A., FRUNZKE, T., JA DRESSLER, F. Adaptive distance estimation and localization in wsn using rssi measures. Julkaisusarjassa *10th Euromicro Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools (DSD 2007)* (2007), IEEE, 471–478.
- [9] BAKER, S. B., XIANG, W., JA ATKINSON, I. Internet of things for smart healthcare: Technologies, challenges, and opportunities. *IEEE Access* 5 (2017), 26521–26544.

- [10] BENOCCI, M., TACCONI, C., FARELLA, E., BENINI, L., CHIARI, L., JA VANZAGO, L. Accelerometer-based fall detection using optimized zigbee data streaming. *Microelectronics Journal* 41, 11 (2010), 703–710.
- [11] BONATO, P., MORK, P. J., SHERRILL, D. M., JA WESTGAARD, R. H. Data mining of motor patterns recorded with wearable technology. *IEEE engineering in medicine and biology magazine* 22, 3 (2003), 110–119.
- [12] CALLAWAY, E., GORDAY, P., HESTER, L., GUTIERREZ, J. A., NAEVE, M., HEILE, B., JA BAHL, V. Home networking with ieee 802.15. 4: a developing standard for low-rate wireless personal area networks. *IEEE Communications magazine* 40, 8 (2002), 70–77.
- [13] CAVALLO, F., AQUILANO, M., ODETTI, L., ARVATI, M., JA CARROZZA, M. C. A first step toward a pervasive and smart zigbee sensor system for assistance and rehabilitation. *Julkaisusarjassa Rehabilitation Robotics, 2009. ICORR 2009. IEEE International Conference on (2009), IEEE, 632–637.*
- [14] CENTENARO, M., VANGELISTA, L., ZANELLA, A., JA ZORZI, M. Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the iot and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications* 23, 5 (2016), 60–67.
- [15] CINETCAMPUS. Iot platform. URL <https://cinetcampus.fi/en/research/iot/iot-platform/>, viitattu 26.11.2019.
- [16] COLLOTTA, M., PAU, G., TALTY, T., JA TONGUZ, O. K. Bluetooth 5: A concrete step forward toward the iot. *IEEE Communications Magazine* 56, 7 (2018), 125–131.
- [17] DARGIE, W., JA POELLABAUER, C. *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice*. John Wiley & Sons, 2010.
- [18] DEMIRIS, G., JA HENSEL, B. K. Technologies for an aging society: a systematic review of "smart home" applications. *Yearbook of medical informatics* 17, 01 (2008), 33–40.
- [19] DEVAUL, R., SUNG, M., GIPS, J., JA PENTLAND, A. S. Mithril 2003: applications and architecture. *Julkaisusarjassa Proceedings of the 7th IEEE International Symposium on Wearable Computers (2003), IEEE Computer Society, 4.*

- [20] FARGAS, B. C., JA PETERSEN, M. N. Gps-free geolocation using lora in low-power wans. *Julkaisusarjassa 2017 global internet of things summit (Giots) (2017)*, IEEE, 1–6.
- [21] FARRINGDON, J., MOORE, A. J., TILBURY, N., CHURCH, J., JA BIEMOND, P. D. Wearable sensor badge and sensor jacket for context awareness. *Julkaisusarjassa Wearable Computers, 1999. Digest of Papers. The Third International Symposium on (1999)*, IEEE, 107–113.
- [22] FERNÁNDEZ-GARCIA, R., JA GIL, I. An alternative wearable tracking system based on a low-power wide-area network. *Sensors 17*, 3 (2017), 592.
- [23] FISHKIN, K. P., PHILIPOSE, M., JA REA, A. Hands-on rfid: Wireless wearables for detecting use of objects. *Julkaisusarjassa Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on (2005)*, IEEE, 38–41.
- [24] FULFORD-JONES, T. R., WEI, G.-Y., JA WELSH, M. A portable, low-power, wireless two-lead ekg system. *Julkaisusarjassa The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (2004)*, vol. 1, IEEE, 2141–2144.
- [25] GANTI, R. K., JAYACHANDRAN, P., ABDELZAHER, T. F., JA STANKOVIC, J. A. Satire: a software architecture for smart attire. *Julkaisusarjassa Proceedings of the 4th international conference on Mobile systems, applications and services (2006)*, ACM, 110–123.
- [26] GUTIERREZ, J. A., CALLAWAY, E. H., JA BARRETT, R. L. *Low-rate wireless personal area networks: enabling wireless sensors with IEEE 802.15. 4*. IEEE Standards Association, 2004.
- [27] GUTIERREZ, J. A., NAEVE, M., CALLAWAY, E., BOURGEOIS, M., MITTER, V., JA HEILE, B. Ieee 802.15. 4: a developing standard for low-power low-cost wireless personal area networks. *IEEE network 15*, 5 (2001), 12–19.
- [28] HAUKIPURO, A. Ikäihmisen kotona asumisen tukeminen langattoman sensoriverkon avulla.
- [29] HAYATI, N., JA SURYANEGARA, M. The iot lora system design for tracking and monitoring patient with mental disorder. *Julkaisusarjassa 2017 IEEE Internatio-*

- nal Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat) (2017), IEEE, 135–139.*
- [30] HELAL, S., MANN, W., EL-ZABADANI, H., KING, J., KADDOURA, Y., JA JANSEN, E. The gator tech smart house: A programmable pervasive space. *Computer* 38, 3 (2005), 50–60.
- [31] HERNANDEZ, O., JAIN, V., CHAKRAVARTY, S., JA BHARGAVA, P. Position location monitoring using ieee® 802.15. 4/zigbee® technology. *Beyond bits* 4 (2009), 67–73.
- [32] HOUSE OF LAPLAND. Uusi sovellus auttaa löytämään kadonneet porot. URL <http://news.cision.com/fi/house-of-lapland/r/uusi-sovellus-auttaa-loytamaan-kadonneet-porot,c2330687>, viitattu 7.2.2018.
- [33] IEEE. Ieee draft standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements-part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications: Amendment 2: Sub 1 ghz license exempt operation. URL <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.jyu.fi/document/7920364/>, viitattu 20.10.2018.
- [34] IEEE. Ieee standard for local and metropolitan area networks - part 15.4: Low-rate wireless personal area networks (lr-wpans). URL https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2011.html/, viitattu 5.9.2018.
- [35] INGENU. Seven nb-iot surprises you need to know about. URL <https://www.ingenu.com/portfolio/seven-nb-iot-surprises-you-need-to-know-about/>, viitattu 27.7.2018.
- [36] JANSSON, JA HAKALA. Managing sensor data streams in a smart home application, Accepted for publication. *International Journal of Sensor Networks* (2019).
- [37] KHOROV, E., LYAKHOV, A., KROTOV, A., JA GUSCHIN, A. A survey on ieee 802.11 ah: An enabling networking technology for smart cities. *Computer Communications* 58 (2015), 53–69.
- [38] KIM, B., JA HWANG, K.-I. Cooperative downlink listening for low-power long-range wide-area network. *Sustainability* 9, 4 (2017), 627.

- [39] KIM, H. H., HA, K. N., LEE, S., JA LEE, K. C. Resident location-recognition algorithm using a bayesian classifier in the pir sensor-based indoor location-aware system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 39, 2 (2009), 240–245.
- [40] KLEMETS, J., MÄÄTTÄLÄ, J., JA HAKALA, I. Integration of an in-home monitoring system into home care nurses' workflow: A case study. *International journal of medical informatics* 123 (2019), 29–36.
- [41] L. LABS. A comprehensive look at low power, wide area networks for internet of things and decision makers. URL <http://info.link-labs.com/lpwan-1>, viitattu 9.3.2018.
- [42] LARA, O. D., JA LABRADOR, M. A. A survey on human activity recognition using wearable sensors. *IEEE communications surveys & tutorials* 15, 3 (2012), 1192–1209.
- [43] LEAL, J., CUNHA, A., ALVES, M., JA KOUBAA, A. On a ieee 802.15. 4/zigbee to ieee 802.11 gateway for the art-wise architecture. *Julkaisusarjassa 2007 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (EFTA 2007)* (2007), IEEE, 1388–1391.
- [44] LORA ALLIANCE. Lorawan specification. URL <https://lora-alliance.org/resource-hub/lorawantm-specification-v10>, viitattu 20.4.2019.
- [45] LORATECH. Zane systems lorawan product catalog. URL https://www.google.com/search?sxsrf=ACYBGNQm6q83cYEd8_NxesJnuZx-m-M7bw%3A1574172068162&source=hp&ei=pPXTXeXoBpCLk74P19aqoAQ&q=zane+systems+ztag+dimensions&oq=z&gs_l=psy-ab.1.0.35i3912j0j0i67j014j0i67j0.5941.5941..8659...0.0..0.102.102.0j1.....0.....1..gws-wiz.Qz67AsvJhfo, viitattu 19.11.2019.
- [46] MAINETTI, L., PATRONO, L., JA SERGI, I. A survey on indoor positioning systems. *Julkaisusarjassa 2014 22nd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)* (2014), IEEE, 111–120.
- [47] MAJUMDER, S., AGHAYI, E., NOFERESTI, M., MEMARZADEH-TEHRAN, H., MONDAL, T., PANG, Z., JA DEEN, M. Smart homes for elderly healthcare recent advances and research challenges. *Sensors* 17, 11 (2017), 2496.

- [48] MALAN, D., FULFORD-JONES, T., WELSH, M., JA MOULTON, S. Codeblue: An ad hoc sensor network infrastructure for emergency medical care. *Julkaisusarjassa International workshop on wearable and implantable body sensor networks (2004)*, vol. 5, Boston, MA;
- [49] MARCO, A., CASAS, R., FALCO, J., GRACIA, H., ARTIGAS, J. I., JA ROY, A. Location-based services for elderly and disabled people. *Computer communications* 31, 6 (2008), 1055–1066.
- [50] MEKKI, K., BAJIC, E., CHAXEL, F., JA MEYER, F. A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment. *ICT Express* 5, 1 (2019), 1–7.
- [51] MISKELLY, F. Electronic tracking of patients with dementia and wandering using mobile phone technology. *Age and ageing* 34, 5 (2005), 497–499.
- [52] MIURA, M., ITO, S., TAKATSUKA, R., SUGIHARA, T., JA KUNIFUJI, S. An empirical study of an rfid mat sensor system in a group home. *Journal of Networks* (2009).
- [53] NOKIA. *White Paper*. Tekninen raportti, Nokia, 2017. URL: <https://onestore.nokia.com/asset/200178/>, viitattu 11.06.2018.
- [54] NOLAN, K. E., GUIBENE, W., JA KELLY, M. Y. An evaluation of low power wide area network technologies for the internet of things. *Julkaisusarjassa Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2016 International* (2016), IEEE, 439–444.
- [55] PARK, M. Ieee 802.11 ah: sub-1-ghz license-exempt operation for the internet of things. *IEEE Communications Magazine* 53, 9 (2015), 145–151.
- [56] PETÄJÄJÄRVI, J., MIKHAYLOV, K., YASMIN, R., HÄMÄLÄINEN, M., JA IINATTI, J. Evaluation of lora lpwan technology for indoor remote health and wellbeing monitoring. *International Journal of Wireless Information Networks* 24, 2 (2017), 153–165.
- [57] PHILIPOSE, M., CONSOLVO, S., CHOUDHURY, T., FISHKIN, K., PERKOWITZ, M., FOX, I., KAUTZ, H., JA PATTERSON, D. Fast, detailed inference of diverse daily human activities. *Demonstrations at Ubicomp* 7 (2004), 2004.

- [58] PHILIPOSE, M., FISHKIN, K. P., PERKOWITZ, M., PATTERSON, D. J., FOX, D., KAUTZ, H., JA HAHNEL, D. Inferring activities from interactions with objects. *IEEE pervasive computing*, 4 (2004), 50–57.
- [59] POPESCU, M., LI, Y., SKUBIC, M., JA RANTZ, M. An acoustic fall detector system that uses sound height information to reduce the false alarm rate. *Julkaisusarjassa Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. EMBS 2008. 30th Annual International Conference of the IEEE (2008)*, IEEE, 4628–4631.
- [60] RATASUK, R., VEJLGAARD, B., MANGALVEDHE, N., JA GHOSH, A. Nb-iot system for m2m communication. *Julkaisusarjassa Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2016 IEEE (2016)*, IEEE, 1–5.
- [61] RAZA, U., KULKARNI, P., JA SOORIYABANDARA, M. Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 19, 2 (2017), 855–873.
- [62] SALMAN, N., RASOOL, I., JA KEMP, A. H. Overview of the ieee 802.15. 4 standards family for low rate wireless personal area networks. *Julkaisusarjassa 2010 7th International Symposium on Wireless Communication Systems (2010)*, IEEE, 701–705.
- [63] SALVADOR, C. H., CARRASCO, M. P., DE MINGO, M. G., CARRERO, A. M., MONTES, J. M., MARTIN, L. S., CAVERO, M. A., LOZANO, I. F., JA MONTEAGUDO, J. L. Airmed-cardio: a gsm and internet services-based system for out-of-hospital follow-up of cardiac patients. *IEEE Transactions on information technology in Biomedicine* 9, 1 (2005), 73–85.
- [64] SEMTECH. Fall detection. URL <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/AB-SEMTECH-LORA-SMART-HEALTH-FALL-DETECTION.PDF>, viitattu 22.4.2019.
- [65] SEMTECH. Fire detection. URL https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech_HB_FireDetection_AppBrief-FINAL.pdf, viitattu 22.4.2019.
- [66] SEMTECH. Locating stolen vehicles and cargo. URL https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech_SupChain_LocatingStolenVehicles-AppBrief-FINAL.pdf, viitattu 22.4.2019.

- [67] SEMTECH. Lora technology: Eliminating water waste and leakage. URL <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech-UseCase-Apana-FINAL-web.pdf>, viitattu 22.4.2019.
- [68] SEMTECH. Lora technology: Expanding lorawan -based network covers 75 percent of the czech republic. URL <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech-UseCase-CRA-8.5x11-web.pdf>, viitattu 22.4.2019.
- [69] SEMTECH. Lora technology: Flood sensor monitoring with real-time data. URL <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech-UseCase-GreenStream-FINAL-web.pdf>, viitattu 22.4.2019.
- [70] SEMTECH. Lora technology: Smart agriculture for indoor botanical garden. URL <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech-UseCase-Calgary-DevonianGarden-Web.pdf>, viitattu 22.4.2019.
- [71] SEMTECH. Lora technology: Transforming golf courses with iot. URL <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech-UseCase-Calgary-GolfCourse-web.pdf>, viitattu 21.4.2019.
- [72] SEMTECH. Smart lighting. URL https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech_Cities_SmartLighting_AppBrief-FINAL.pdf, viitattu 22.4.2019.
- [73] SEMTECH. Smart parking. URL https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech_Cities_SmartParkingMeter_AppBrief-FINAL.pdf, viitattu 22.4.2019.
- [74] SEMTECH. Waste management. URL https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech_Cities_WasteManagement_AppBrief-FINAL.pdf, viitattu 22.4.2019.
- [75] SEMTECH CORPORATION. Semtech lora geolocation used in ireland's second busiest port to track shipping assets. URL <https://www.semtech.com/company/press/Semtech-LoRa-Geolocation-Used-in-Irelands-Second-Busiest-Port-to-Track-> viitattu 7.2.2018.

- [76] SHNAYDER, V., CHEN, B.-R., LORINCZ, K., FULFORD-JONES, T. R., JA WELSH, M. Sensor networks for medical care.
- [77] SINHA, R. S., WEI, Y., JA HWANG, S.-H. A survey on lpwa technology: Lora and nb-iot. *ICT Express* 3, 1 (2017), 14–21.
- [78] SUNG, M., PENTLAND, A., ET AL. Livenet: Health and lifestyle networking through distributed mobile devices. *Proceedings WAMES 18* (2004).
- [79] SURYADEVARA, N., GADDAM, A., MUKHOPADHYAY, S., JA RAYUDU, R. Wellness determination of inhabitant based on daily activity behaviour in real-time monitoring using sensor networks. *Julkaisusarjassa 2011 Fifth International Conference on Sensing Technology* (2011), IEEE, 474–481.
- [80] SURYADEVARA, N. K., QUAZI, M., JA MUKHOPADHYAY, S. C. Intelligent sensing systems for measuring wellness indices of the daily activities for the elderly. *Julkaisusarjassa 2012 Eighth International Conference on Intelligent Environments* (2012), IEEE, 347–350.
- [81] TABAR, A. M., KESHAVARZ, A., JA AGHAJAN, H. Smart home care network using sensor fusion and distributed vision-based reasoning. *Julkaisusarjassa Proceedings of the 4th ACM international workshop on Video surveillance and sensor networks* (2006), ACM, 145–154.
- [82] TAPIA, E. M., INTILLE, S. S., JA LARSON, K. Activity recognition in the home using simple and ubiquitous sensors. *Julkaisusarjassa International conference on pervasive computing* (2004), Springer, 158–175.
- [83] TELOS. Telos. URL <http://www2.ece.ohio-state.edu/~bibyk/ee582/telosMote.pdf>, viitattu 19.5.2019.
- [84] TEXAS INSTRUMENT. Cc1000 single chip very low power rf transceiver. URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1000.pdf>, viitattu 20.1.2019.
- [85] VASSEUR, J.-P., JA DUNKELS, A. *Interconnecting smart objects with ip: The next internet*. Morgan Kaufmann, 2010.
- [86] WHITE, E. B., MONTGOMERY, P., JA MCSHANE, R. Electronic tracking for people with dementia who get lost outside the home: a study of the experience of familial carers. *British Journal of Occupational Therapy* 73, 4 (2010), 152–159.

- [87] WIKIPEDIA. List of wireless sensor nodes. URL https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_wireless_sensor_nodes, viitattu 20.1.2019.
- [88] WOOD, A., VIRONE, G., DOAN, T., CAO, Q., SELAVO, L., WU, Y., FANG, L., HE, Z., LIN, S., JA STANKOVIC, J. Alarm-net: Wireless sensor networks for assisted-living and residential monitoring. *University of Virginia Computer Science Department Technical Report 2* (2006), 17.
- [89] WOOD, A. D., STANKOVIC, J. A., VIRONE, G., SELAVO, L., HE, Z., CAO, Q., DOAN, T., WU, Y., FANG, L., JA STOLERU, R. Context-aware wireless sensor networks for assisted living and residential monitoring. *IEEE network* 22, 4 (2008).
- [90] ZANE SYSTEMS. ztrack pro. URL <https://www.zane.hu/en/webshop/ztrack-pro/>, viitattu 16.11.2019.
- [91] ZHANG, Q., REN, L., JA SHI, W. Honey: a multimodality fall detection and telecare system. *Telemedicine and e-Health* 19, 5 (2013), 415–429.
- [92] ZUNIGA, J. C., JA PONSARD, B. Sigfox system description. *LPWAN@ IETF97*, Nov. 14th (2016).