

**Langattomien likiverkkojen katsaus
kodinohjausjärjestelmissä**
**Survey of wireless personal area networks in home
control systems**

Iiro Laaksonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Sähkötekniikka

Iiro Laaksonen

Langattomien likiverkkojen katsaus

kodinohjausjärjestelmissä

2020

Kandidaatintyö.

25 s.

Tarkastaja: TkT Mikko Kuisma

Kodinohjausjärjestelmällä ihmiset voivat ehostaa sekä ohjata kodin toimintoja, kuten lämmityksen ja valaistuksen automatisointi sekä niiden etäohjaus mobiililaitteella. Kodinohjausjärjestelmän laitteiden välinen verkko voidaan luoda langattomasti tai langallisesti. Tutkimuksessa kartoitetaan neljän vähän virtaa kuluttavan kodinohjausjärjestelmissä käytetyn langattoman verkkotekniikan ominaisuuksia sekä kyseisten tekniikoiden mahdollistavien kodinohjausjärjestelmien toimintoja. Työn tutkimuskysymyksinä ovat ”Millaisissa erilaisissa kodinohjausjärjestelmien sovelluskohteissa verkkoteknologioita on käytetty?” ja ”Miten teknologia ominaisuuksiltaan sopii kyseiseen sovelluskohteeseen?”.

Työssä tutkittiin Zigbee-, EnOcean-, 6LoWPAN- sekä Z-Wave-tekniikoita. Verkkojen mahdollistamat kodinohjaustoiminnot ilmenivät hyvin samankaltaisiksi eri tekniikoilla. Matalan virrankulutuksen sekä tiedonsiirtonopeuden takia verkoissa liikkuvan datan pitää olla tarpeeksi pientä verkon toimivuuden takaamiseksi. Esimerkiksi kuvan lähettäminen aiheutti viivettä verkossa ja kuvan lähettämällä oli merkittävä mahdollisuus mennä pieleen.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Iiro Laaksonen

Survey of wireless personal area networks in home control systems

2020

Bachelor's Thesis.

25 p.

Examiner: TkT Mikko Kuisma

People can enhance and control the functions, such as automation of heating and lighting, of their homes with home automation systems. The network of the devices can be created wired or wirelessly. The study maps the characteristics of four low-power wireless networking technologies used in home control systems and the functions of home control systems that enabled by these technologies. The research questions of the thesis are “In what different applications of home control systems have the network technologies been used?” and “How does the technology suit the characteristics of the application in question?”.

Zigbee, EnOcean, 6LoWPAN and Z-Wave technologies were studied. The home control functions enabled by the networks appeared to be very similar with different technologies. Due to the low power consumption and data transfer speed, the data transferred in the networks must be small enough to guarantee the functionality of the network. For example, posting an image caused a delay in the network, and there was a significant chance of failure.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	6
2.	Verkkotekniikat.....	7
2.1	Zigbee	7
2.2	Z-Wave	7
2.3	6LoWPAN	7
2.4	EnOcean.....	7
3.	Kodinohjausjärjestelmät	9
3.1	Zigbee	9
3.2	Z-Wave	12
3.3	6LoWPAN	14
3.4	EnOcean.....	16
4.	Johtopäätökset.....	19
5.	Yhteenveto.....	22
	Lähteet.....	23

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

6LoWPAN	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks
IETF	Internet Engineering Task Force
MAC	Medium access control
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model
PHY	Physical layer

1. JOHDANTO

Kodinohjausjärjestelmällä voidaan ehostaa kodin ominaisuuksia, kuten lämmityksen ja valaistuksen automatisointi sekä etäohjaus mobiililaitteella. Kodinohjausjärjestelmien jatkuvasti kehittyessä kuluttajille tarjottavat tuotteet ja palvelut monipuolistuvat ja yleistyvät kehityksen mukana. Ensimmäisissä järjestelmissä laitteet toimivat langallisella yhteydellä ohjaten laitteita sähköverkon välityksellä, käyttäen esimerkiksi X10-protokollaa. Nykypäivänä usein käytetään langatonta verkkoa järjestelmän laitteiden välillä. Monien eri palveluntarjoajien myötä on olemassa myös monia erilaisia langattomia verkkoteknologioita, joita järjestelmät käyttävät. Järjestelmissä voidaan käyttää vähän virtaa kuluttavia verkkotekniikoita, esimerkiksi akkukäyttöisten laitteiden toiminta-ajan pidentämiseksi ja vaadittavien latausten vähentämiseksi.

Tutkimuksessa kartoitetaan neljän vähän virtaa kuluttavan kodinohjausjärjestelmissä käytetyn langattoman verkkotekniikan ominaisuuksia sekä kyseisten tekniikoiden mahdollistavien kodinohjausjärjestelmien toimintoja. Tutkittavat verkkotekniikat ovat Zigbee, Z-Wave, 6LoWPAN sekä EnOcean. Tutkimus suoritetaan kirjallisuustutkimuksena. Erinäisistä julkaisuista tutkitaan, millaisissa erilaisissa kodinohjausjärjestelmissä eri verkkoteknologioita on käytetty. Työn tutkimuskysymyksinä ovat ”Millaisissa erilaisissa kodinohjausjärjestelmien sovelluskohteissa verkkoteknologioita on käytetty?” ja ”Miten teknologia ominaisuuksiltaan sopii kyseiseen sovelluskohteeseen?”.

2. VERKKOTEKNIIKAT

Tässä luvussa käydään läpi työssä tutkittavien verkkotekniikoiden perusominaisuuksia. Verkkotekniikoista kerätyt ominaisuudet ovat esitettynä taulukossa 2.1.

2.1 Zigbee

Zigbee on Zigbee Alliancen luoma ja ylläpitämä verkkotekniikka. Zigbee perustuu OSI-mallin MAC- ja PHY-kerroksiltaan IEEE 802.15.4 standardiin. Zigbeeen voi luoda yhteyden taajuuksilla 2,4 GHz, 915 MHz sekä 868 MHz. Zigbee-tekniikan tarjoama suurin mahdollinen tiedonsiirtonopeus riippuu yhteyden käyttämästä taajuudesta. Taajuudella 2,4 GHz tiedonsiirtonopeus on 250 kbit/s, 915 MHz 40 kbit/s ja 868 MHz 20 kbit/s (Toschi et al. 2017). Zigbee-yhteyden toimintasäde on suurimmillaan 100 metriä (Risteska & Trivodaliev 2016).

2.2 Z-Wave

Z-Wave on Zensyksen luoma ja Z-Wave Alliancen ylläpitämä verkkotekniikka. Z-Wave perustuu OSI-mallin MAC- ja PHY-kerroksiltaan ITU-T Rec. G.9959 suositukseen. Z-Waven käyttämiä taajuuksia ovat 868 MHz Euroopassa ja 908 MHz Yhdysvalloissa. Suurin mahdollinen tiedonsiirtonopeus Z-Wave yhteydellä on 100 kbit/s ja toimintasäde 30 metriä (Baviskar et al. 2015).

2.3 6LoWPAN

6LoWPAN, eli koko nimeltään IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks, on IETF:n eli Internet Engineering Task Forcen ylläpitämä verkkotekniikka. 6LoWPAN perustuu IEEE 802.15.4 standardiin. Se muokkaa standardia siten että 6LoWPAN-tekniikkaa käyttävät yhteys on yhteensopiva IPv6-protokollan verkon kanssa (Kushalnagar et al. 2007). 6LoWPAN- tekniikan toimintataajuus on 2,4 GHz, tiedonsiirtonopeus 250 kbit/s ja toimintasäde enimmillään 50 metriä (Majumder et al. 2017).

2.4 EnOcean

EnOcean on EnOceanin kehittämä langaton verkkotekniikka. EnOcean perustuu OSI-mallin MAC-, PHY- ja NET-kerroksiltaan ISO/IEC 14543-3-10 standardiin. EnOcean-tekniikan

käyttämiä taajuuksia ovat 868, 902 sekä 928 MHz, suurin mahdollinen tiedonsiirtonopeus on 125 kbit/s ja pisin toimintasäde on 30 metriä. (EnOcean. 2020)

Taulukko 2.1 Tutkittavien verkkotekniikoiden ominaisuuksia.

	Zigbee	Z-Wave	6LoWPAN	EnOcean
Taajuus	2,4 GHz, 915 MHz, 868 Mhz	868 MHz, 908 MHz	2,4 GHz	868 MHz, 902 MHz, 928 MHz
Tiedonsiirtonopeus	250 kbit/s, 40 kbit/s, 20 kbit/s	100 kbit/s	250 kbit/s	125 kbit/s
Toimintasäde	100 m	30 m	50 m	30 m
Standardi	802.15.4	ITU-T Rec. G.9959	802.15.4	ISO/IEC 14543-3-10

3. KODINOHJAUSJÄRJESTELMÄT

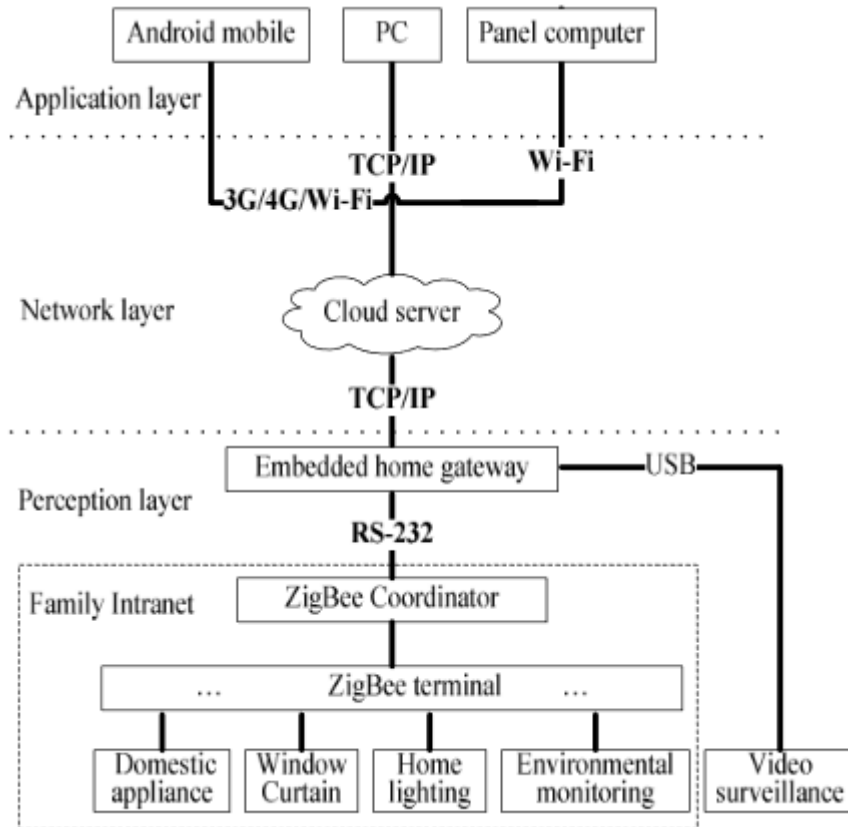
Tässä luvussa tutkitaan, millaisissa järjestelmissä tutkittavia verkkotekniikoita on hyödynnetty.

3.1 Zigbee

Kasmi et al. esittelemän älykotijärjestelmän keskeisiä ominaisuuksia ovat lämpötilan tarkkailu, palovaroitin, sisäänkäynnin tarkkailu, lamppujen ja ikkunoiden hallinta sekä Microsoft Azure pilvipalvelu. Järjestelmä koostuu verkon hallintayksiköstä, kahdesta eri huoneeseen sijoitetusta reitittimestä sekä reitittimiin liitetyistä laitteista ja sensoreista. Hallintayksikkö on sijoitettu asunnon eteiseen, toinen reitittimistä keittiöön ja toinen makuuhuoneeseen. Järjestelmän osat luovat langattoman verkon Zigbee-standardin mukaan. Hallintayksikkönä käytettiin Raspberry Pi 3 tietokonetta, johon on lisätty Zigbee-yhteyden mahdollistava XBee S2 Pro -moduuli sekä ympäristöstä tietoa kerääviä sensoreita. Hallintayksikkö on yhteydessä internetiin, jotta järjestelmää voidaan tarkkailla ja ohjata etänä sekä kerätty tieto voidaan varastoida pilveen. Verkon reitittiminä toimivat Arduino mikrokontrolleri XBee S2-moduulilla. Järjestelmän avulla asunnossa on automatisoitu tuulettimen toimintaa. Kun huoneen lämpötila nousee tietyn rajan yli, hallintayksikkö lähettää käskyn käynnistää tuulettimen. Keittiössä sijaitseva sensori valvoo mahdollisen tulipalon varalta ja havaitessaan palon järjestelmä lähettää tiedon käyttäjälle. Asunnon sisäänkäynnillä hallintayksikön yhteydessä on liiketunnistin sekä web-kamera. Sensorin tunnistaessa liikettä, kamera ottaa kuvan henkilöstä. Järjestelmässä on myös mahdollisuus seurata kameran videokuvaa reaaliaikaisesti. Microsoft Azure pilvipalveluun järjestelmä tallentaa tiedon talon tapahtumista, kuten valaistuksen päällä pitämisestä. Tulevaisuudessa Kasmi et al. toivovat, että järjestelmä pystyisi analysoida ja ennakoida asukkaan tarpeita ja säädellä kodin toimintoja, kuten valaistusta. (Kasmi et al. 2016)

Mao et al. luoma älykotijärjestelmä mahdollistaa kodinkoneiden etäohjauksen, valvoo sisäilman ominaisuuksia sekä toimii turvajärjestelmänä. Kuten kuvassa 3.1 on esitetty, järjestelmä koostuu yhdyskäytävästä, Zigbee-verkon koordinaattorista sekä laitteita ohjaavista ja

tietoa keräävistä noodeista. Yhdyskäytävänä käytettiin Smart210-mikrokontrolleria ja Zigbee-verkon koordinaattorina sekä nooiden pohjana käytettiin Texas Instrumentsin CC2530F256 järjestelmäpiiriä.



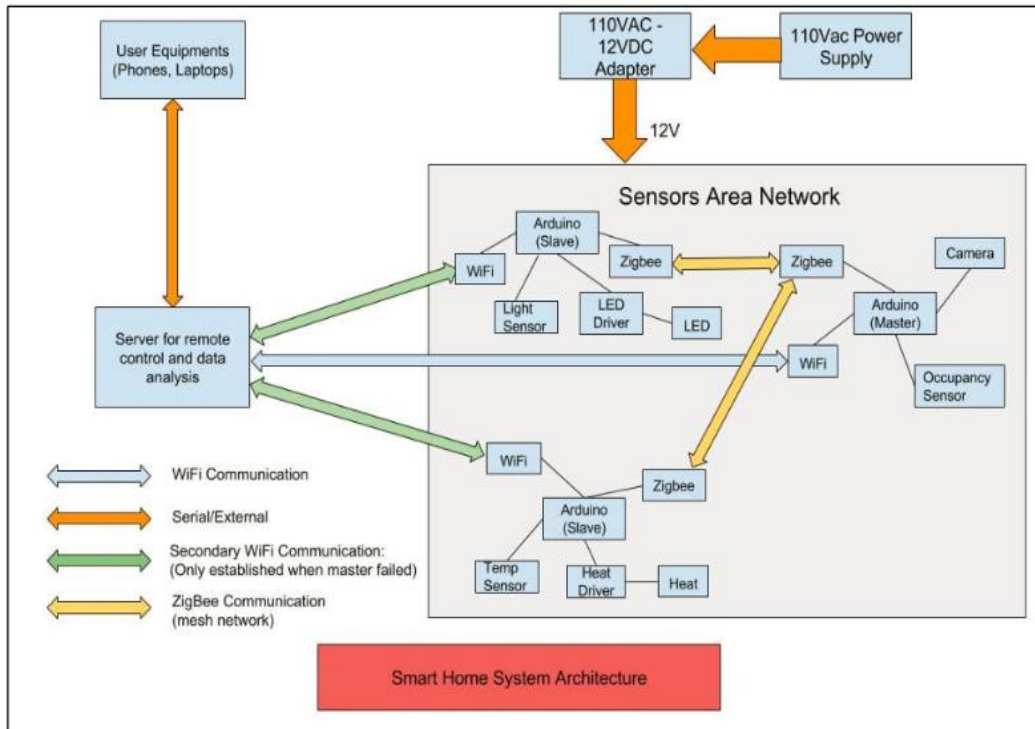
Kuva 3.1 Kodinohjausjärjestelmän verkon arkkitehtuuri. (Mao et al. 2017)

Tekijät loivat Android-sovelluksen, jolla voi seurata ja ohjata järjestelmän tilaa. Järjestelmä automatisoi ilmastoinnin. Se mittaa sisäilman lämpötilan ja ilmankosteuden ja säätelee ilmastointia pyrkien pitämään lämmön ja kosteuden halutuissa arvoissa. Turvajärjestelmään kuuluu kaasusensori, liiketunnistin sekä valvontakamera. Kaasusensorin tai liiketunnistimen havaitessa jotain sopimatonta, järjestelmä ilmoittaa havainnosta käyttäjälle sovellukseen. Valvontakameran kuvaamaa videota voi seurata järjestelmän sovelluksella. (Mao et al. 2017)

Baviskar et al. toteuttama järjestelmä mahdollistaa neljän laitteen hallinnoinnin järjestelmän verkkoon kuuluvien releiden avulla ja laitteiden kuluttama teho mitataan. Järjestelmän hallintayksikkönä toimii tietokone XBee Series2 moduulilla, Zigbee-verkon kommunikointia varten. Järjestelmää ohjataan tietokoneohjelmalla, jolla voi käynnistää ja sulkea verkkoon

kuuluvia laitteita ja seurata laitteiden käyttämää tehoa. Verkon laitteet ovat yhteydessä tähtitopologialla. Hallintayksikkö lähettää verkon noodille käskyn releiden kontrolloimiseksi. Verkon noodi jatkuvasti mittaa laitteiden käyttämää tehoa ja lähettää datan hallintalaitteelle, jossa tehonkulutus esitetään reaaliaikaisesti tietokoneella. (Baviskar et al. 2014)

Ly et al. toteuttivat kuvassa 3.2 esitetyn kotiautomaatiojärjestelmän. Kuten kuvasta nähdään, järjestelmän sensoriverkko koostuu kolmesta noodista, joista yksi on konfiguroitu verkkoa hallinnoivaksi yksiköksi. Verkossa toimivat noodit ovat sensoreita lukuun ottamatta samantyyppisiä, joten vian sattuessa hallinnoivalle noodille, verkon toinen laite voidaan konfiguroida toimimaan hallinnoivana yksikkönä. Järjestelmän noodien pohjana käytettiin Arduino Mega 2560 mikrokontrollereita ja XBee moduulia Zigbee verkon luomiseen. Verkon hallintayksikkö on WiFin välityksellä yhteydessä ulkoiselle palvelimelle järjestelmän etäkäyttöä varten. Järjestelmän noodeilla on eri toiminnallisuudet. Ensimmäinen mittaa ympäristön valoisuutta ja säätelee sen mukaan lampun kirkkautta. Toinen mittaa lämpötilaa ja säätelee tuuletinta. Kolmannessa on liiketunnistin sekä kamera. Järjestelmään kuuluu verkkosivu, jonka avulla voi seurata verkon tapahtumia sekä lähettää käskyjä verkon laitteille. Järjestelmä päivittää valoisuuden ja lämpötilan jatkuvasti verkkosivulle, liiketunnistimen havaitessa liikettä kuva päivitetään kahden sekunnin välein. Kuvien lähettämisessä ilmeni ongelmia, sillä lähetettävä kuva piti lähettää seitsemässä tai kahdeksassa osassa. Kuvan lähettäminen useassa osassa lisäsi viivettä verkossa sekä siinä on suurempi mahdollisuus tapahtua jokin virhe, kuin kerralla kuvan lähettämisessä. (Ly et al. 2017)



Kuva 3.2 Kotiautomaatiojärjestelmän verkon arkkitehtuuri (Ly et al. 2017)

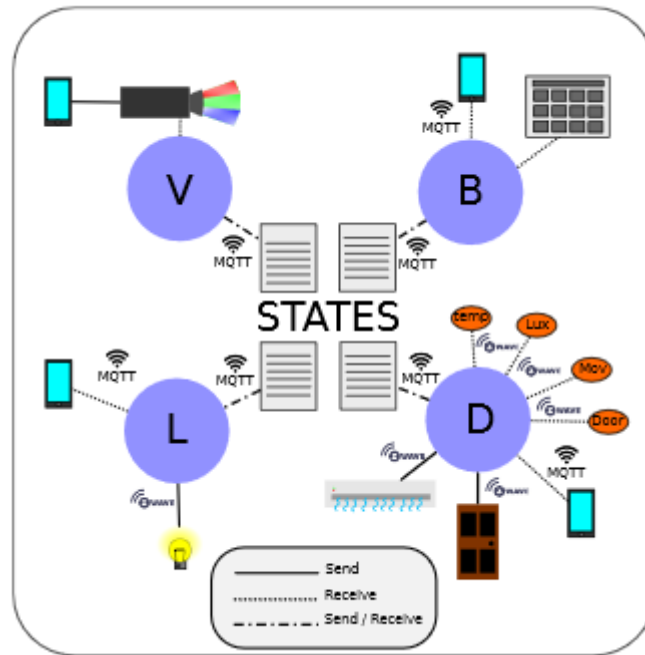
3.2 Z-Wave

Hudec & Smutny esittelevät järjestelmän, joka auttaa sokeita ihmisiä kotonaan. Järjestelmän toiminnallisuuksia ovat kodin lämpötilan valvonta ja hallinta sekä sisäänkäynnin ja asunnossa tapahtuvien liikkeiden valvonta. Toiminnallisuudet ovat toteutettu käyttäen erilaisia tekniikoita, Z-Wave verkkotekniikkaa on hyödynnetty lämpötilan hallinnassa. Asunnossa on seitsemässä eri huoneessa yhdeksän akkukäyttöistä termostaattia, joiden toimintaa ohjaa kodin automaatiojärjestelmän hallintayksikkö, pitäen huoneiden lämpötilat halutuissa arvoissa. Termostaatit päivittävät tiedon halutusta lämpötilasta sekä säättävät lämmitystä viiden minuutin välein ja muulloin pysyvät valmiustilassa. Termostaattien tiedon päivityksen välinen aika on säädettävissä enimmillään 30 minuuttiin, laitteen toiminta-ajan pidentämiseksi. Järjestelmän tekijöiden mukaan termostaattien akun varaus kestää puolesta kaudesta koko lämmitettävän kauden ajaksi. Akun kesto vaihtelee huoneittain, sillä osa huoneista vaatii tiheämpää säätöä. Akkujen varalle järjestelmässä on toiminto, joka ilmoittaa käyttäjälle, kun jonkun termostaatin akun varaus on vähentynyt kymmeneen prosenttiin. (Hudec & Smutny 2017)

Hansen et al. suunnittelivat ja toteuttivat kodinohjausjärjestelmän, jonka päätarkoituksena on vähentää asunnon lämmityksen ja sähkölaitteiden energiankulutusta koneoppimisen

avulla. Järjestelmän Z-wave-verkko koostuu Raspberry Pistä, kahdesta etäohjattavasta pistorasiasta, kahdesta lampusta ja yhdestä termostaatista. Raspberry Pi on Z-wave-verkon kontrolleri ja yhdyskäytävä Internetiin. Kontrolleri ja käyttölaitteet muodostavat tähtiverkon. Järjestelmän ohjattaviin pistorasioihin on liitettyä käyttäjän tietokone sekä televisio. Käyttäjän on mahdollista itse seurata ja hallinnoida laitteiden ja lämpötilan tilaa sekä asunnon energiankulutusta älypuhelimella. Tekijät käyttivät Microsoftin Azure-pilvipalvelua käyttääkseen järjestelmässä koneoppimista. Järjestelmä seuraa aikoja kuten milloin käyttäjä nukkuu ja on poissa kotoa, joten asunnon lämmitystä voidaan vähentää ja sammuttaa sähkölaitteet tietyissä tapauksissa. (Hansen et al. 2018)

Guzmán & Núñez kehittivät automaatiojärjestelmän, joka koostuu neljästä yksiköstä, yhden koko verkkoa hallinnoivan yksikön sijaan. Järjestelmä ovat esitettynä kuvassa 3.3, missä nähdään yksiköt video (V), broker (B), lights (L) sekä domotics (D). Yksiköt ovat toisiinsa sekä järjestelmän hallintaan käytettävään älypuhelimeen yhteydessä Wi-Fi välityksellä. Broker-yksikkö ohjaa yksiköiden välistä kommunikaatiota ja video-yksikkö seuraa median-toistolaitteen tilaa. Lights- ja domotics-yksiköillä on omat Z-wave verkot toimintojensa suorittamiseksi. Domotics-yksikkö mittaa huoneen lämpötilan sekä valoisuuden, valvoo liikettä sekä oven tilaa ja ohjaa ilmastointia. Lights-yksikkö ohjaa lamppuja. Ilmastointia ja valoja voidaan ohjata älylaitteella Wi-Fi-verkon välityksellä tai antaa järjestelmän säätää niiden toimintaa mitattujen tietojen perusteella. Lights- ja domotics-yksiköt ovat rakennettu Raspberry Pi alustalle ja broker- ja video-yksiköt Beaglebone Green alustalle. (Guzmán & Núñez)

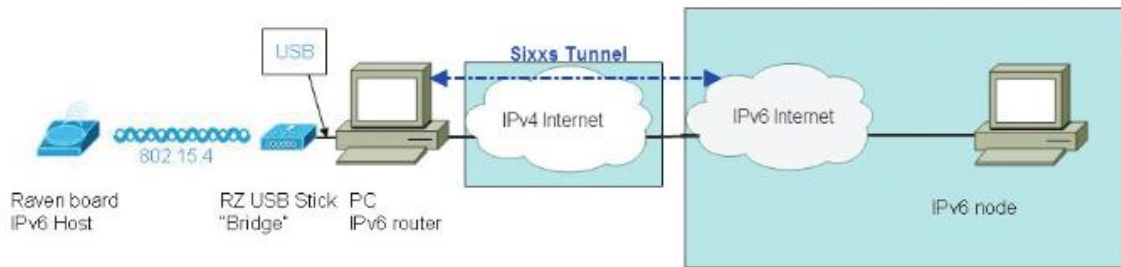


Kuva 3.3 Automaatiojärjestelmän arkkitehtuuri. (Guzmán & Núñez 2018)

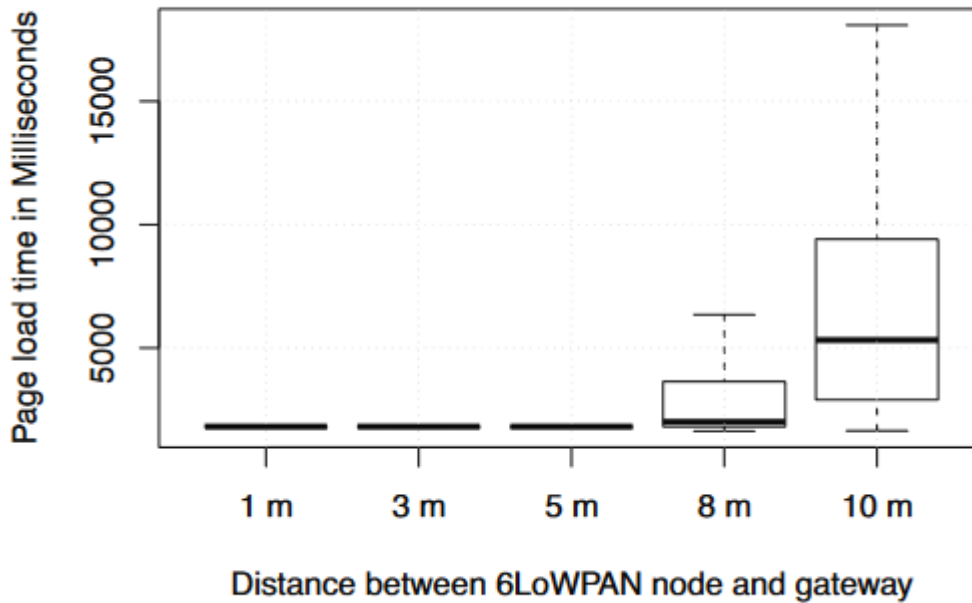
3.3 6LoWPAN

Efendi et al. toteuttivat etäohjattavan kodinohjausjärjestelmän, jossa järjestelmän osat luovat langattoman verkon perustuen 6LoWPAN verkkoprotokollaan. Yhteyden testauksessa käytetty noodi mittaa huoneen valoisuutta sekä mahdollistaa lampun ohjaamisen. He halusivat tehdä järjestelmästä mahdollisimman vähän huoltoa vaativan, joten he lisäsivät verkon akkukäyttöisiin noodeihin aurinkopaneelit keräämään energiaa. Verkon protokollaksi valittiin 6LoWPAN sen yhteensopivuuden IPv6 protokollan kanssa ja matalan tehonkulutuksen takia. Järjestelmässä verkon pääpisteenä toimii verkon toimintaa ohjaava ja kahden verkon välillä yhdyskäytävänä toimiva hallintayksikkö. Noodina verkossa oli käytössä TI CC2530 järjestelmäpiiri, johon on liitetty ISL 29023 valosensori sekä pieni aurinkokenno. Verkon toimivuutta testattiin Android applikaatiolla, joka lähetti verkon hallintayksikölle käskyn sytyttää tai sammuttaa lampun. Efendi et al. laskelmien mukaan 5 sekunnin välein tietoa lähetävä tai vastaanottava noodi toimisi 53 päivää täyteen ladatulla akulla. Akkua lataavan aurinkokennon avulla tekijät totesivat kennon tuottavan energiaa noin kolminkertaisen määrän noodin käyttämään energiaan nähden. Eli noodi saisi tarvitsemansa energian ja ylimääräisellä energialla akku pysyisi ladattuna takaamaan toiminnan öisin sekä pilvisinä päivinä (Efendi, A. M. et al. 2017)

Dörge & Scheffler toteuttivat 6LoWPAN verkon välityksellä ohjattavan oven lukon. He muokkasivat erillisellä ohjaimella toimivaa elektronista lukkoa siten että, sitä voi ohjata millä tahansa laitteella, jossa on IPv6-protokollaa tukeva verkkoselain. 6LoWPAN yhteyden mahdollistamiseksi lukkoon kytkettiin Atmel Raven-mikrokontrolleri. Kuvassa 3.4 on esitettyä järjestelmän yhteyden toiminta. Yhteyden toiminnan tutkimiseksi, Dörge & Scheffler mittasivat verkkosivun latausaikaa lukon ja reitittimen eri välimatkoilla. Välimatkaa kasvatettaessa sivun latausaika piteni huomattavasti, kuten kuvasta 3.5 nähdään. Kymmenen metrin etäisyydellä sivun mediaani latausaika on kasvanut yli viiteen sekuntiin. Tekijöiden mukaan latausajan kasvun syynä on lähetettävän verkkopaketin fragmentoitumisesta syntyvä vika. 6LoWPAN protokollasta vastaava organisaatio IETF on tietoinen ongelmasta ja tekstissä on mainittuna mahdollinen ratkaisu ongelmalle. (Dörge & Scheffler 2011)



Kuva 3.4 Järjestelmän yhteyden toiminta (Dörge & Scheffler 2011)



Kuva 3.5 Verkkosivun latausaikoja etäisyyttä kasvattaessa. (Dörge & Scheffler 2011)

Tudose et al. esittelevät huoneen lämpötilaa mittaavan järjestelmän, jonka verkon noodeissa hyödynnetään aurinkoenergiaa niiden käyttöiän pidentämiseksi. Tekijöiden mukaan järjestelmään voi lisätä erilaisia sensoreita sekä toimilaitteita, mutta esimerkkitapauksessa on mitattu ainoastaan huoneen lämpötilaa. Järjestelmä koostuu dataa keräävästä noodista, yhdyskäytävänä ja verkon hallintalaitteena toimivasta mikrokontrollerista sekä datan esittävästä Android-sovelluksesta. Järjestelmässä käytettävä noodi on tekijöiden itse kehittämä Atmel Zigbit A2-moduulin ympärille. Erityisen noodista tekee siihen lisätty aurinkokenno, joka lataa laitteen akkua. Tekijöiden laskelmien mukaan kerätty energia riittäisi noodin jatkuvalle käytölle. Todellisessa tapauksessa noodi on suurimman osan ajasta valmiustilassa, joten kerätty energia riittää pitämään laitteen akun täyteen ladattuna. Akkuun varastoitua energiaa laite käyttää toimiakseen öisin ja pilvisinä päivinä. Järjestelmän hallintalaitteessa on kosketusnäyttö, jolla voi seurata ja ohjata järjestelmää. (Tudose et al. 2011)

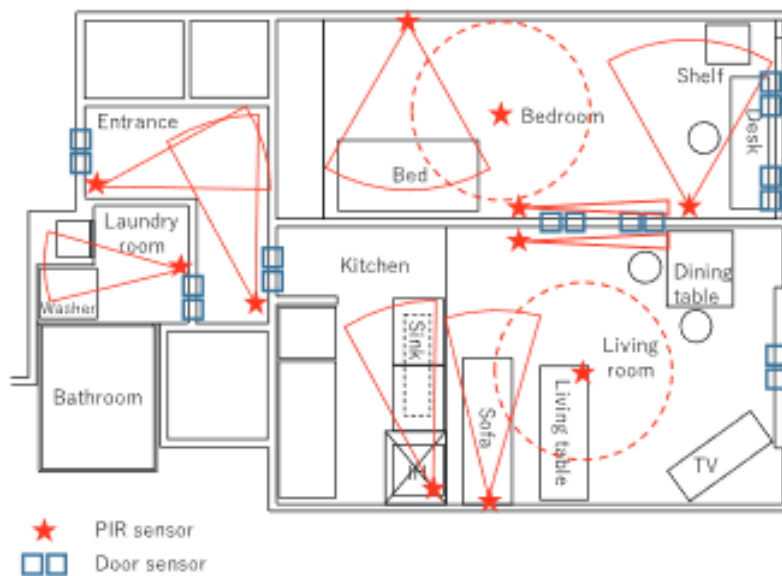
3.4 Enocean

Wen, X. & Wang, Y toteuttivat työssään talon sisätilan ominaisuuksia mittaavan älykotijärjestelmän käyttäen EnOcean verkkoprotokollaa. Järjestelmä mittaa huoneen lämpötilan, ilmankosteuden sekä valovoiman suuruuden ja esittää kerätyn datan reaaliaikaisesti omalla

internetsivullaan. Ominaisuuksien mittaamiseksi käytetty verkko koostuu kolmesta lämpötilasensorista, kolmesta ilmakeuhkesensorista, yhdestä valosensorista sekä sensoreita ohjaavasta hallintayksiköstä. Järjestelmässä käytetyt sensorimodulit ovat EnOceanin sensoreita, jotka keräävät itse käyttämänsä energian. Hallintayksikkönä toimii Raspberry Pi tietokone. Verkon komponentit luovat keskenään tähtiverkon, jossa jokainen sensori on yhteydessä vain hallintayksikköön. Verkon hallintayksikkö kerää sensoreilta saamansa datan ja on Wi-Fi välityksellä yhteydessä palvelimelle, josta kerätty data saadaan esitettyä heidän luomallaan verkkosivulla. (Wen & Wang 2018)

Pinto et al. esittelivät kodinohjausjärjestelmän, joka mittaa ilman ominaisuuksia ja ohjaa kodin ilmanvaihtoa. Järjestelmä koostuu ikkunoihin asennettavista päätelaitteista ja niitä ohjaavasta hallintayksiköstä. Päätelaitteissa sekä hallintayksikössä on käytössä STM300 järjestelmäpiiri EnOcean-yhteyden luomiseksi. Ikkunoiden ohjaimet voivat ohjata ikkunoiden ilmanvaihtoventtiileitä sekä sälekaihtimia. Ikkunoiden ohjaamisen lisäksi laite mittaa valoisuutta sekä talon sisäistä ja ulkoista lämpötilaa ja ilmakeuhkettä. Hallintayksikkö välittää mitatun datan sekä käyttäjän käskyt toimijoiden välillä. Tiedon välityksen lisäksi, hallintayksikkö mittaa sisätilan ilman hiilidioksidipitoisuutta ja voi sen perusteella säädellä ikkunoiden ilmanvaihtoventtiileitä. Järjestelmään kuuluu sekä tietokone- että Android-ohjelma, jolla käyttäjä voi valvoa mitattuja tietoja sekä ohjata itse ikkunoiden venttiileitä sekä sälekaihtimia. Ikkunoiden ohjaimet ovat akkukäyttöisiä ja niissä on aurinkokennot akkujen lataamiseksi. Pinto et al. arvioivat ikkunan ohjaimen akun kestoja. Normaalisessa käytössä täyteen ladatun akun arvioitiin kestävän 56 päivää. Toiseen tutkimukseen perustuen he arvioivat aurinkoenergian vaikutusta käyttöaikaan kahdella eri auringonsäteilyn arvolla. 90 W/m^2 kuvaa yleisesti eurooppalaista keskimääräistä säteily määrää ja 30 W/m^2 vastaavasti pohjoismaista arvoa. 90 W/m^2 arvolla he arvioivat laitteen kestävän 190 päivää ja 30 W/m^2 arvolla 73 päivää. Näiden tulosten perusteella he olettavat, että järjestelmän laitteita joutuu kerran vuodessa lataamaan manuaalisesti. (Pinto et al. 2013)

Kashimoto et al. loivat järjestelmän, joka seuraa asukkaan toimia asunnossa. Järjestelmän toiminnassa on pyritty suojaamaan käyttäjän yksityisyyttä, joten esimerkiksi kameroita ei ole käytetty. Järjestelmä valvoo 11:n infrapunaliiiketunnistimen sekä kahdeksan ovia ja ikkunoita seuraavan sensorin avulla. Noodit keräävät tarvitsemansa käyttöenergian ja lataavat superkondensaattorin pienen aurinkopaneelin avulla. Ladattu superkondensaattori mahdollistaa laitteiden toiminnan, kun paneeli ei tuota energiaa. Sensorit ovat aseteltu eri huoneisiin, kuten kuvassa 3.6 on esitetty. Sensorit lähettävät tiedon liikkeestä järjestelmän paikalliselle palvelimelle. Havaittujen liikkeiden perusteella järjestelmä pääättelee, mitä asukas mil-läkin hetkellä tekee. Järjestelmä osaa tunnistaa kahdeksan eri tapahtumaa mitä asunnossa voi tapahtua, nämä ovat: asukkaan läsnäolo, yleinen vapaa-ajan vietto, työskentely tai opiskelu, ruoanlaitto, ruokailu, kylpyhuoneen käyttö, nukkuminen sekä siivous. (Kashimoto et al. 2016)



Kuva 3.6 Järjestelmän liiketunnistimien sekä ovien ja ikkunoiden sensorien sijoittelu asunnossa (Kashimoto et al. 2016)

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Taulukkoon 4.1 on kerätty työssä käsiteltyjen kodinohjausjärjestelmien sensorien mittaamia ominaisuuksia käytetyn verkkotekniikan mukaan. Näiden mitattujen ominaisuuksien kaltaisten pienten datamäärien välitys onnistuu moitteettomasti tarkastelluilla verkkotekniikoilla. Sovelluskohteisiin, joissa vaaditaan suuremman määrän datan välitystä, kuten valokuvien siirtoon nämä verkkotekniikat eivät sovellu. Kuten Ly et al. luomassa järjestelmässä, kameran ottaman kuvan siirtämisessä ilmeni ongelmia, koska se jouduttiin lähettämään monessa osassa. Kyseisessä järjestelmässä käytettiin Zigbee-verkkoa, jonka korkein mahdollinen tiedonsiirtonopeus on 250 kbit/s. Muissa tässä työssä käsitellyissä verkkotekniikoissa korkein tiedonsiirtonopeus on joko sama tai matalampi, joten voidaan olettaa, ettei niilläkään kuvien tai muun vastaavan suuremman datan lähettäminen onnistuisi ongelmitta.

Taulukko 4.1 Työssä käsiteltyjen kodinohjausjärjestelmien mittaamia ominaisuuksia verkkotekniikoittain.

	Zigbee	Z-Wave	6LoWPAN	EnOcean
Lämpötila	x	x	x	x
Liiketunnistus	x	x		x
Ilmankosteus	x			x
Hiilidioksidi tai muu kaasu	x			x
Tehonkulutus	x	x		
Valoisuus	x	x	x	x

Järjestelmien mahdollistavat ohjattavat kodin toiminnot on kerätty taulukkoon 4.2. Kodin ominaisuuksien mittaamisen lisäksi itse toimintojen ohjaus on merkittävä osa järjestelmiä. Järjestelmien avulla käyttäjä voi etäisesti ohjata näitä toimintoja tai automatisoida niitä. Etenkin toimintojen automatisoinnin avulla voi vähentää kotona kulutettua energiaa, sekä lämmityksen että sähkölaitteiden säätelyllä.

Taulukko 4.2 Työssä käsiteltyjen kodinohjausjärjestelmien mahdollistamia ohjaus toimintoja.

	Etäohjaus	Automaatio
Ilmastointi	x	x
Valot	x	x
Pistorasia	x	x
Oven lukitus	x	
Lämmitys	x	x

Lähes jokaisessa esitellyssä kodinohjausjärjestelmässä, järjestelmään kuuluu yksi tietty laite, joka ohjaa muiden järjestelmän laitteiden toimintaa. Ly et al. esittelemässä järjestelmässä oli mahdollista vaihtaa hallintayksikkönä toimivaa noodia. Tämä ominaisuus tuo järjestelmään joustavuutta sekä takaa sen toiminnan mahdollisessa vikatilanteessa. Noodien ollessa lähes samanlaisia, se mahdollisesti lisää järjestelmän laitteiden hintaa. Laitteet, jotka esimerkiksi vain lähettävät keräämäänsä datan järjestelmän hallintayksikön käskystä, ovat oletettavasti yksinkertaisempia ja halvempia kuin myös hallinointiin kykenevät laitteet.

Järjestelmien, joissa on akkukäyttöisiä noodeja, käyttöaikaa voidaan pidentää lisäämällä noodeihin energian keruu ominaisuuksia. Efendi et al., Pinto et al., Tudose et al. sekä Kashimoto et al. hyödyntävät järjestelmissään aurinkoenergiaa. Nämä järjestelmät käyttivät 6LoWPAN- tai EnOcean-tekniikkaa. Pinto et al. esittelemässä tapauksessa, he arvioivat järjestelmän laitteiden vaativan manuaalista lataamista kerran vuodessa ja Efendi et al. sekä Tudose et al. totesivat järjestelmän toimivan lataamatta toistaiseksi. Harva tai kokonaan poistettu laitteiden lataamisen tarve lisää akkukäyttöisten kodinohjausjärjestelmien käyttökäytävyyttä. EnOcean markkinoi tekniikkaansa erityisesti energian keruu mahdollisuudella (EnOcean. 2020). EnOceanin lisäksi energian keruuta on mahdollista hyödyntää muillakin tekniikoilla.

Useissa työssä käsitellyissä järjestelmissä on mahdollisuus seurata kodin tilaa sekä ohjata laitteita etänä käyttäen järjestelmälle luotua verkkosivua tai sovellusta. Z-Wave, Zigbee sekä EnOcean verkkotekniikat vaativat järjestelmäänsä yhdyskäytävän muodostaakseen yhtey-

den järjestelmän oman verkon ja ohjaavan verkkosivun tai sovelluksen kanssa. Usein järjestelmän hallintayksikkö toimii myös yhdyskäytävänä, joten sellaisen tarvitseminen ei tuo suurempaa monimutkaisuutta tai ongelmia järjestelmään. 6LoWPAN-tekniikka mahdollistaa yhteyden IPv6-protokollan verkkojen kanssa, eli mahdollistaisi yhteyden suoraan internetiin. Silti työssä esitellyissä tapauksissa myös 6LoWPAN-tekniikkaa käytävissä järjestelmissä on yhdyskäytävä, joten tämän tekniikan käyttäminen voi helpottaa laitteiden yhteyttä internetiin, mutta ei poista yhdyskäytävän tarvetta.

5. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kartoittaa neljän langattoman verkkotekniikan sekä näitä tekniikoita hyödyntävien kodinohjausjärjestelmien ominaisuuksia. Verkkotekniikoiden perusominaisuudet käytiin pintapuolisesti läpi ja ne kerättiin taulukkoon. Zigbee- ja 6LoWPAN-tekniikat pohjautuvat samaan IEEE 802.15.4-standardiin, joten niiden perusominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset. Merkittävin ero niiden välillä tulee 6LoWPAN-tekniikan yhteydestä IPv6-protokollaan, joka on osa internet-protokollaa. Z-Wave sekä EnOcean toimivat matalemmilla taajuuksilla, jotka mahdollistavat matalamman tiedonsiirtonopeuden ja lyhyemmän toimintasäteen. Matalan virrankulutuksen sekä tiedonsiirtonopeuden takia verkoissa liikkuvan datan pitää olla tarpeeksi pientä verkon toimivuuden takaamiseksi. Esimerkiksi kuvan lähettäminen aiheutti viivettä verkossa ja kuvan lähettämällä oli merkittävä mahdollisuus mennä pieleen.

Kodinohjausjärjestelmistä huomattiin, että eri verkkotekniikoiden mahdollistamat ohjauksen sovellukset ovat hyvin samankaltaisia. Tutkittujen tapausten perusteella ei ole sellaista ominaisuutta, jonka vain yksi tietty verkkotekniikka mahdollistaisi. Laitteiden saadessa lisää niin sanottua älyä ja koneoppimisen kehittyessä voimme odottaa, että kodinohjausjärjestelmien avulla entistä paremmin automatisoidaan kotien toimintoja.

LÄHTEET

Baviskar, J., Mulla, A., Baviskar, A., Panchal, N. & Makwana, R. 2014. *Implementation of 802.15.4 for designing of home automation and power monitoring system.*

Baviskar, A., Baviskar, J., Wagh, S., Mulla, A. & Dave, P. 2015. Comparative Study of Communication Technologies for Power Optimized Automation Systems: A Review and Implementation.

Dörge, B. M. & Scheffler, T. 2011. Using IPv6 and 6LoWPAN for home automation networks.

Efendi, A. M. *et al.* (2013) ‘Battery-Less 6LoWPAN-Based Wireless Home Automation by Use of Energy Harvesting’, *International Journal of Distributed Sensor Networks*. doi: [10.1155/2013/924576](https://doi.org/10.1155/2013/924576).

EnOcean. Radio Technology. [verkkodokumentti]. [viitattu 26.5.2020]. Saatavissa <https://www.enocean.com/en/technology/radio-technology/>

Guzmán, J. & Núñez, F. 2018. A Multi Interface Home Automation System with Distributed Intelligence.

Hansen, H., Tewes, M. & Foldager, N. 2018. A Home Energy Management System with Focus on Energy Optimization. Master’s thesis. Aalborg University

Hudec, M. & Smutny, Z. 2017. RUDO: A Home Ambient Intelligence System for Blind People. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(8), . doi:10.3390/s17081926

Kashimoto, Y., Hata, K., Suwa, H., Fujimoto, M., Arakawa, Y., Shigezumi, T., . . . Yasumoto, K. 2016. Low-cost and Device-free Activity Recognition System with Energy Harvesting PIR and Door Sensors.

Kasmi, M., Bahloul, F. & Tkitek, H. 2016. *Smart home based on Internet of Things and cloud computing.*

Kushalnagar, N., Montenegro, G., & Schumacher, C. 2007. IPv6 over low-power wireless personal area networks (6LoWPANs): overview, assumptions, problem statement, and goals.

Ly, T., Tran, A. & Tran, D. 2017. Smart Home System. Worcester Polytechnic Institute.

Majumder, S., Aghayi, E., Noferesti, M., Memarzadeh-Tehran, H., Mondal, T., Pang, Z. & Deen, M. 2017. Smart Homes for Elderly Healthcare-Recent Advances and Research Challenges. *Sensors*, 17(11), . doi:10.3390/s17112496

Mao, X., Li, K., Zhang, Z. & Liang, J. 2017. *Design and implementation of a new smart home control system based on internet of things.*

Mendes, T., Godina, R., Rodrigues, E., Matias, J. & Catalão, J. 2015. Smart Home Communication Technologies and Applications: Wireless Protocol Assessment for Home Area Network Resources. *Energies*, 8(7), pp. 7279-7311. doi:10.3390/en8077279

Pinto, S., Castro, T., Brito, N., Gomes, T., Tavares, A., Mendes, J. & Cabral, J. 2013. ClimaWin: An intelligent window for optimal ventilation and minimum thermal loss.

Risteska Stojkoska, B. L. & Trivodaliev, K. V. 2017. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*, 140(P3), pp. 1454-1464. doi:10.1016/j.jclepro.2016.10.006

Toschi, G. M., Campos, L. B. & Cugnasca, C. E. 2017. Home automation networks: A survey. *Computer Standards & Interfaces*, 50, pp. 42-54. doi:10.1016/j.csi.2016.08.008

Tudose, Dan Ștefan, et al. "Home automation design using 6LoWPAN wireless sensor networks." 2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS). IEEE, 2011.

Yassein, M. B., Mardini, W. & Khalil, A. 2016. Smart homes automation using Z-wave protocol.

Wen, X. & Wang, Y. 2018. *Design of smart home environment monitoring system based on raspberry Pi.*