



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

AVOIMIEN KODINOHJAUSJÄRJESTELMIEN KATSAUS 2016

An Overview of Open-source Home Automation Systems in 2016

Artturi Rämänen

Joonas Ikonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

LUT School of Energy Systems

Sähkötekniikka

Joonas Ikonen ja Artturi Rämänen

Avoimien kodinohjausjärjestelmien katsaus 2016

2018

Kandidaatintyö.

35 s.

Tarkastaja: TkT Mikko Kuisma

Hakusanat: Kodinohjaus, kotiautomaatio, esineiden internet, avoin lähdekoodi, avoin laitteisto

Kodinohjaus on esimerkiksi kodin valojen, lämmityksen ja multimedian ohjaamista asukkaan käskyjen mukaan. Sitä voi hyödyntää kasvattamaan asumismukavuutta, ja vähentämään kodin energiankulutusta. Avoin laitteisto tarkoittaa, että laitteiston suunnitelmat jaetaan muiden käytettäväksi. Avoimen laitteiston suosion myötä on mahdollista toteuttaa kodinohjausjärjestelmä avoimien lähteiden avulla.

Tässä työssä tutkittiin avoimen laitteiston ja lähdekoodin hyödyntämistä kodin ohjaamiseksi. Tutkimus tehtiin kirjallisuusselvityksen ja tapaustutkimuksen muodossa. Tavoitteena oli selvittää arkkitehtuurit, laitteet ja yhteysmenetelmät jotka sopivat AKOJ:n toteutukseen vuonna 2016.

Tutkimustulosten perusteella keskusyksiköllinen järjestelmä mahdollistaa monien eri yhteysmenetelmien hyödyntämisen samassa järjestelmässä. Raspberry Pi 3 on ensisijainen vaihtoehto valittaessa järjestelmän keskusyksikköä. Tulosten mukaan AKOJ:n yhteysmenetelmiksi sopivat ensisijaisesti Ethernet, Wi-Fi ja Bluetooth Low Energy.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology

LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Joonas Ikonen and Artturi Rämänen

An Overview of Open-source Home Automation Systems in 2016

2018

Bachelor's Thesis.

35 p.

Examiner: D.Sc. (Tech.) Mikko Kuisma

Keywords: Home automation, home control, IoT, open source hardware, open source software

Examples of home automation include controlling a homes lights, heating and multimedia according to the residents commands. Home automation can be used to increase home comfort and reduce energy consumption. Open source hardware means that plans for producing the hardware are available publicly. Following the popularity of open source hardware, it is now possible to realize a home control system using devices with open sources.

In this bachelor's thesis the utilization of open source hardware and software to automate homes was examined. The study was conducted using both a literature review and a case study. The objective was to research the system architectures, hardware and communication technologies fit for an open source home automation system in 2016.

According to the results of this study a central computer enables use of various communication technologies in the home automation system. A Raspberry Pi 3 is the preferred option for a central computer. The results show that the primary communication technologies suitable for an open source home automation system are Ethernet, Wi-Fi and Bluetooth Low Energy.

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AKOJ	Avoim kodinohjausjärjestelmä
WLAN	Langaton lähiverkko
WiFi	Langaton tiedonsiirron muoto joka mahdollistaa WLAN verkot
GPIO	<i>General Purpose Input / Output</i> eli yleiskäyttöinen tulo/lähtö
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter, Universaali asynkroninen lähetin/vastaanotin
PWM	Pulse Width Modulation, Pulssin leveys modulaatio
VPN	Virtual Private Network, Virtuaalinen erillisverkko
XML	Extensible Markup Language, Laajennettava merkintäkieli
IoT	Internet of Things, Esineiden verkko

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
1.1 Taustaa	7
1.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset	8
1.3 Käytetyt tutkimusmenetelmät	8
2 KIRJALLISUUSSELVITYS	9
2.1 Järjestelmän tyypilliset komponentit ja rakenne	9
2.2 Keskusyksikkö	10
2.2.1 Päätelaitteen ja keskusyksikön välinen yhteys	11
2.2.2 Vaihtoehdot keskusyksiköksi	12
2.2.3 Keskusyksiköiden ohjelmisto	13
2.3 Yhteydet	13
2.3.1 Langalliset yhteydet	14
2.3.2 Langattomat yhteydet	15
Bluetooth ja Langaton Lähiverkko	15
Solmuverkko	15
2.3.3 Langattomien yhteyksien laitteisto	17
3 TAPAUSTUTKIMUS	19
3.1 Yhteys päätelaitteen ja Pi:n välillä	19
3.1.1 Käyttöjärjestelmä ja GPIO-kirjasto	21
3.1.2 Palvelimen tarjoama verkkosivusto	21
3.2 Yhteys toimilaitteen ja keskusyksikön välillä	23
3.2.1 Käytetyt laitteet	23
3.2.2 Ohjelman rakenne	24
4 POHDINTA TAPAUSTUTKIMUKSESTA	27
4.1 Yhteisö ja sen osana oleminen	27
4.2 Tietoturva	27
4.3 Sensorit ja automaatio	27
4.4 Raspberry Pi 3	28
4.5 Laajempi koti-integrointi	28
4.6 Ohjaussovellus	28
4.7 Vaihtoehtoiset toteutustavat kohdalle 3.3.1	29
4.8 Solmuverkko ilman valmista protokollaa	29
5 YHTEENVETO	29
LÄHDELUETTELO	32
LIITTEET	35
LIITE 1: Raspberry Pi:n konfigurointi	35

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Kodinohjaus on osa esineiden internetiä (IoT). Esineiden internetin arvioidaan kasvavan noin viidestä miljardista yhdistetystä laitteesta v. 2015 yli kahteenkymmeneen miljardiin yhdistettyyn laitteeseen v. 2020 mennessä [1]. Nopeasti kehittyvät markkinat tuottavat täysin uusia tapoja käyttää kodin valaistusta, turvallisuutta ja mukavuutta. Kodinohjausjärjestelmä ei vaikuta olevan vakiintunut ilmaisu [2], mutta sillä tarkoitetaan tässä työssä laitteita ja teknologioita jotka yhdessä mahdollistavat kodin laitteiden ohjaamisen perustuen muuhun kuin ihmisen käyttämään laitteessa olevaan kytkimeen. Kodinohjauksen käyttökohteita ovat esimerkiksi kodin valaistuksen, lämmityksen, kodinkoneiden ja viihdejärjestelmien ohjaaminen. Kodinohjausjärjestelmän rakenne voi mahdollistaa kodin toimintojen automatisoinnin, ja asukkaan arjen helpottamisen.

Ensimmäinen kodinohjaukseen tarkoitettu protokolla, X10, kehitettiin vuonna 1975 ja se toimi lähettämällä korkeataajuisia signaaleja kodin sähköverkon sisällä [2]. X10 ja vastaavat järjestelmät eivät kuitenkaan ole yleistyneet osaksi jokaisen kodin varustelua. Erilaisia kodinohjausjärjestelmiä tarjoavat Suomessa esimerkiksi D-Link mydlink järjestelmällä, ABB free@home järjestelmällään ja Ensto eOhjaimillaan. Näiden laitteistojen hinnat olivat kirjoittamishetkellä 150 €:sta yli 1500 €:n. Järjestelmien laajentaminen vaikuttaa usein olevan mahdollista vain samaan tuoteperheeseen kuuluvilla laitteilla, ja eri järjestelmien hinta voi kasvaa nopeasti. Vuonna 2016 D-Link'in järjestelmään maksoi yksi kauko-ohjattava pistorasia noin 55 €. Suuremmat taloon kiinteästi asennettavat järjestelmät vaativat vähintään sähköammattilaisen tekemän asennuksen [3]. Kodinohjausjärjestelmän komponenttien välisen kommunikoinnin mahdollistavia yhteystekniikoita on useita, ja nämä kilpailevat standardit eivät useimmiten ole yhteensopivia toistensa kanssa [4].

Kodinohjausjärjestelmä on myös mahdollista toteuttaa harrasteena. Mikrokontrollerialustoja ja yhden piirilevyn tietokoneita, kuten esimerkiksi Arduino- ja Raspberry Pi-tuoteperheitä markkinoidaan helppokäyttöisinä harrastevälineinä myös ihmisille, kelle elektroniikka ei ole ennestään tuttua. Osasyynä näiden laitteiden yleistymiseen lienee juuri laitteiston avoimuus (engl. open source hardware). Avoin laitteisto määritellään laitteistona jonka suunnitelmat tehdään julkisesti saatavaksi, jotta kuka tahansa voi opiskella, muokata, jakaa, tehdä ja myydä laitteistoa tai laitteistoa joka suunnitellaan sen pohjalta [5]. Ajettaessa tämänlaisella laitteistolla kodinohjauksen mahdollistavaa avointa ohjelmakoodia, voidaan puhua avoimesta kodinohjausjärjestelmästä (lyh. tässä työssä AKOJ).

Kodinohjausjärjestelmä koostuu komponenteista, joita voivat olla esimerkiksi sensori, valaisinta ohjaava ohjainlaite ja kodinohjausjärjestelmän keskusyksikkö. Arkkitehtuuri eli järjestelmän rakenne kuvaa kuinka nämä komponentit viestivät toistensa kanssa. Komponentit käyttävät tiettyjä yhteysmenetelmiä toistensa kanssa viestimiseen.

1.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset

Kodinohjausjärjestelmä koostuu monesta teknologian sovelluksesta, esimerkiksi radioverkoista, analogiaelektroniikasta ja tietoverkoista. Kodinohjausjärjestelmää rakentavalla henkilöllä ei välttämättä ole tarvittavaa tietoa näistä eri teknologian aloista jotta hän voisi tehdä parhaat valinnat oman kodinohjausjärjestelmänsä eteen. Tutkimuksen tavoite on selvittää yleisimmät vuonna 2016 saatavilla olevien AKOJ:n toteutukseen sopivat arkkitehtuurit, laitteet ja yhteysmenetelmät.

Laitteiston tutkinta rajataan yhden piirilevyn tietokoneiden hyödyntämiseen AKOJ:n keskusyksikkönä ja langattomiin yhteysmoduuleihin. Työssä oletetaan suosion korreloivan laitteen ohjelmisto- ja käyttäjätukeen, ja siten vähempään työmäärään AKOJ:n rakentajalle. AKOJ:än fyysisten komponenttien ja ohjelmistojen on oltava avoimia. Sopivuus AKOJ:n edellyttää tässä tutkimuksessa alle 70 € hintaa, saatavuutta kuluttaja-asiakkaille, työkalutonta liitettävyyttä, ja RF-laitteilta sertifiointia. Työssä ei esitellä laitteiden verkkosähköjohtojen kautta toimivia protokollia (PLC, power-line communication), jotka ovat yleisempiä kaupallisissa kodinohjausjärjestelmissä. Langalliset yhteysmuodot käsitellään OSI-mallin kerroksen yksi eli PHY-tason osalta.

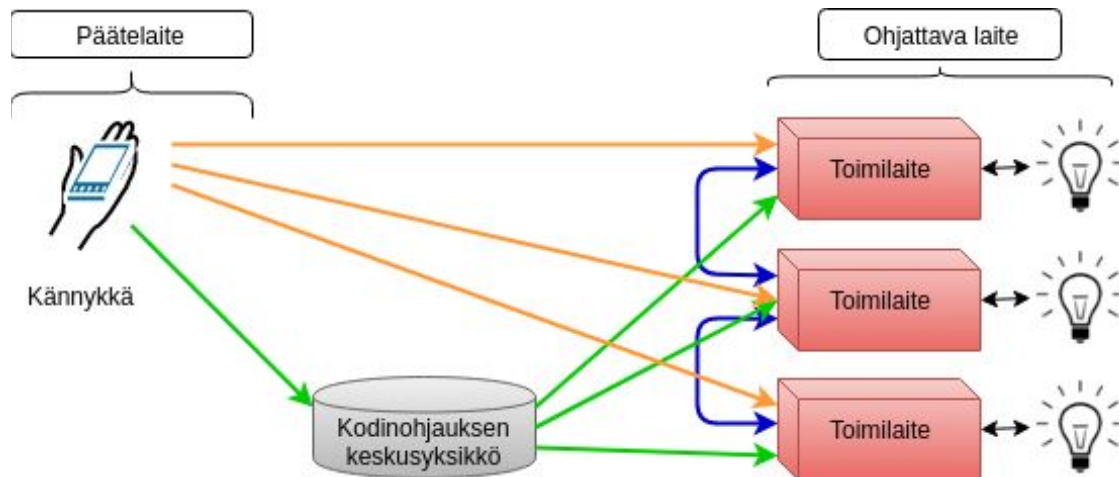
1.3 Käytetyt tutkimusmenetelmät

Arkkitehtuureja, laitteita ja yhteysmenetelmiä jotka mahdollistavat avoimen kodinohjausjärjestelmän toteuttamisen tutkitaan kirjallisuustutkimuksen sekä tapaustutkimuksen muodossa. Ensimmäisessä kirjallisuustutkimuksessa pyritään työn tavoitteeseen perehtymällä kodinohjauksen tieteelliseen aineistoon, laitevalmistajien tarjoamiin tietoihin laitteistaan ja muuhun www-aineistoon. Avoin kodinohjausjärjestelmä toteutetaan tapaustutkimuksena. Tapaustutkimuksen on määrä validoida ja syventää siinä käytettyjen järjestelmäkomponenttien osalta kirjallisuustutkimuksen tuloksia. Laitteiston suosiota mitataan kautta työn Google-hakutulosten määrällä vuonna 2017, jos muuta ei mainita. Joonas Ikonen on vastannut työn langattomien yhteyksien, solmuverkkojen ja tapaustutkimuksen kohdan 3.2 tutkimisesta. Artturi

Rämänen on vastannut kirjallisuusselvityksen AKOJ:n arkkitehtuurien, langallisten yhteyksien ja tapaustutkimuksen kohdan 3.1 tutkimisesta.

2 KIRJALLISUUSSELVITYS

2.1 Järjestelmän tyypilliset komponentit ja rakenne



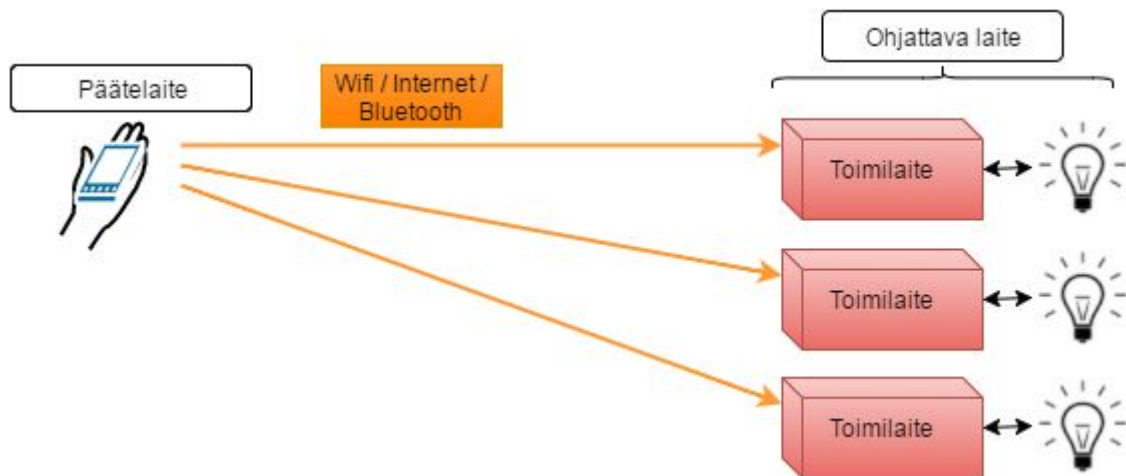
Kuva 1. Kodinohjausjärjestelmän vaihtoehtoiset perusrakenteet. Toimilaitteita voidaan ohjata keskusyksikön välityksellä tai suoraan päätelaitteella. Tämän lisäksi toimilaitteet voivat välittää viestejä toisilleen.

Tässä työssä on kodinohjausjärjestelmän laitteet kategorisoitu toimilaitteisiin, päätelaitteisiin ja keskusyksiköihin, kuten kuvassa 1. Järjestelmän rakenteelle on löydettävissä kolme selkeästi erilaista toteutustapaa. Ensimmäisessä toteutustavassa päätelaite yhdistettynä toimilaitteeseen tarjoaa teoreettisesti yksinkertaisimman kokonaisuuden. Tässä työssä tämänlaista yhteyttä suoraksi yhteydeksi. Esimerkki tästä on bluetooth-ohjattavat lamput, saatavilla mm. Flux Bluetooth Smart Light Bulb tai [6] esittelemä multimediaohjausjärjestelmä. Toisessa toteutustavassa järjestelmään lisätään keskusyksikkö, joka keskittää toimilaitteiden ohjauksen yhteydet itseensä. Tällöin kaikki viestintä toimilaitteille kulkee keskusyksikön kautta, joka ohjaa ja muuntaa viestit oikeille laitteille. Esimerkki tämän tyyppisestä kaupallisesta kodinohjausjärjestelmästä on Danfoss Link, joka vaatii yrityksen oman langattoman keskusyksikön [7]. Kolmas kodinohjausjärjestelmän arkkitehtuuri on solmuverkko, jossa järjestelmän pääte- tai toimilaitteet pystyvät reitittämään viestejä edelleen seuraavalle laitteelle, pidentäen järjestelmän kantamaa.

Kuvassa 2 esitetty suora yhteys ei vaadi keskusyksikköä. Suoralla yhteydellä muodostetussa järjestelmässä on AKOJ:n arkkitehtuurina seuraavat rajoitteet:

- Jokaiseen toimilaitteeseen on muodostettava päätelaitteelta oma yhteytensä.

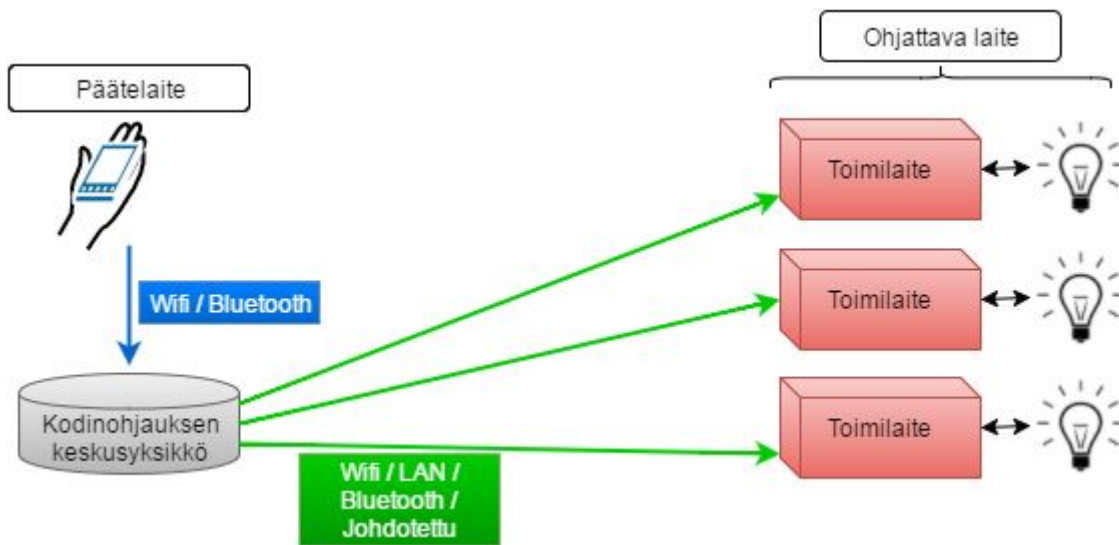
- Toimilaitteiden on käytettävä samaa yhteysmenetelmää kuin päätelaite. Matkapuhelinta päätelaitteena käytettäessä on toimilaitteiden käyttämät yhteydet rajoittuneet niihin, jotka matkapuhelimesta löytyy.
- Järjestelmän komponenttien etäisyydet toisistaan rajoittuvat yhteysmenetelmän kantamaan.



Kuva 2. Kodinohjausjärjestelmän rakenne suoralla yhteydellä päätelaitteen ja toimilaitteen välillä.

2.2 Keskusyksikkö

Keskusyksikön minimivaatimus on toimia viestinvälittäjänä päätelaitteiden ja toimilaitteiden välillä. Kuva 3 on esimerkki keskusyksiköllisestä kodinohjausjärjestelmästä. Yhteydet jakautuvat päätelaitteen ja keskusyksikön, sekä keskusyksikön ja toimilaitteen välisiin. Käyttäjälle voidaan tarjota yksi käyttöliittymä, josta voidaan samanaikaisesti hallita eri toimilaitteita, vaikka jokainen olisi eri tavalla yhteydessä keskusyksikköön [8].



Kuva 3. Keskusyksiköllisen kodinohjausjärjestelmän rakenne.

2.2.1 Päätelaitteen ja keskusyksikön välinen yhteys

Wifi ja Bluetooth ovat tyypillisiä vaihtoehtoja kun ohjataan kodinohjausjärjestelmää älypuhelimesta. Pöytätietokoneesta saattaa löytyä vain lähiverkkoyhteys ja USB. Käyttöliittymä voidaan toteuttaa verkkosivuna, kuten esim. openHAB- tai Domoticz-kodinohjausjärjestelmissä [8], [9] ja Yamaha AV-vahvistimissa [10]. Tällöin jokainen laite, josta löytyy lähiverkkoyhteys ja selain voi toimia päätelaitteena. Päätelaitteen tarvitsee vain ladata käyttöliittymän sisältävä sivu ja esittää se käyttäjälle. Sivun toimii siten identtisesti puhelimesta ja tietokoneelta, kunhan molempien alustojen selaimet pystyvät esittämään sivun. Verkkopalvelimen tehtävä on tässä tapauksessa tarjota käyttöliittymä ja suorittaa tarvittava ohjaus komentojen mukaan.

Käytettäessä suoraa yhteyttä järjestelmässä jokainen laite vaatii oman IP-osoitteensa lähiverkosta [11]. Toinen suoralla yhteydellä toimi- ja päätelaitteiden välillä WiFi-yhteyttä hyödyntävä paikallinen kodinohjausjärjestelmä on esitelty ATNAC 2014 julkaisussa [12]. Esitelty järjestelmä ja sen käyttämä Distributed Discovery (DD) protokolla tarjoavat ratkaisut fyysiseen asennukseen ja käyttöliittymän sovittamisen vaikeuteen ja keskusyksikön tarpeeseen. Käytetty avoin standardi myös mahdollistaa laajan laitevalikoiman. Protokollassa päätelaite lähettää kyselyn saatavilla olevista laitteista, jotka vastaavat kunkin laitteen XML-muotoisella määrittelyllä, mikä kertoo mitä on mahdollista ohjata ja mitä tietoa on saatavilla laitteessa. Näin päätelaitteen ohjelma voi vapaasti muotoilla tarjotut tiedot näytettävään muotoon.

2.2.2 Vaihtoehdot keskusyksiköksi

Kappaleen 1.2 määriteltyjen AKOJ:n komponentin vaatimusten lisäksi keskusyksikön vaatimuksiksi asetetaan seuraavat: vähäinen melu, riittävä laskentateho keskusyksikön tehtäviin ja laaja liitettävyyys. Riittävän halpoja PC-pohjaisia vaihtoehtoja keskusyksiköksi ei löydetty tutkittavaksi.

Alle 70€ pienoistietokoneet kuten Raspberry Pi:t käyttävät ARM-arkkitehtuurillisia prosessoreita, ja täten nämä tietokoneet ovat vähävirtaisempia kuin x86-pohjaiset eli perinteiset pöytätietokoneiden prosessorit [13]. ARM-pohjaiseksi AKOJ:n keskusyksiköksi sopivia laitteita on kuvattu taulukossa 1. Kaikki taulukon 1 ARM-pohjaiset tietokoneet sisältävät yhteyden lähiverkkoon, moniytimisen yli 800MHz kellotaajuudella käyvän prosessorin, vähintään yhden USB-portin ja tarjoavat mm. SPI- ja I2C-yhteydet. Raspberry Pi malliston uusin 3 versio sisältää WiFi- ja Bluetooth-toiminnallisuuden [14].

Taulukko 1. Vuonna 2016 saatavilla olleiden suosituimpien ARM-pohjaisisten pienoistietokoneiden AKOJ:n kannalta merkittävät tiedot. Hakutulos-kolumni antaa käsityksen laitteiden suhteellisesta suosiosta. Yhteysmenetelmien ja käyttöjärjestelmä lähteinä käytetty projektien omia verkkosivuja.

Laite	Hinta 5/2016 (sis. alv)	Langattomat yhteydet	Huomionarvoiset langalliset yhteydet	Google-hakutulokset laitteen nimellä 10/2017	Huomiot käyttöjärjestelmistä
Raspberry Pi 2	45€	-	-	27 300 000	-
Raspberry Pi 3	45€	WiFi, Bluetooth	-	21 400 000	-
Beaglebone Black	49€	-	-	1 250 000	-
Orange Pi One	16.5€	Infrapunavastaaanotin	1000Mb/s lähiverkkoyhteys	8 010 000	Tukee Raspberry Pi:n käyttöjärjestelmää
Banana Pi M1+	40€	WiFi	1000Mb/s lähiverkkoyhteys	161 000	Tukee Raspberry Pi:n käyttöjärjestelmää

Taulukosta 1 nähdään Raspberry Pi- tuoteperheen 2- ja 3-mallien olevan suosituimpia kuin kilpailijat. Tämä edesauttaa eri ohjelmistojen tukea laitteille, ja täten ne sopivat harrastelijan AKOJ:n paremmin. Kuitenkin esimerkiksi Orange Pi One ja Banana Pi M1+ tukevat Raspberry Pi:n Raspbian-käyttöjärjestelmää, jolloin varauksin voidaan olettaa myös niille löytyvän samat

ohjelmistot kuin Raspberry Pi:lle. AKOJ:n sopivin keskusyksikkö on Raspberry Pi 3, johtuen sisäänrakennetuista AKOJ:n sopivista Bluetooth- ja WiFi-yhteyslaitteista ja ylivertaisesta suosiostaan. Tarvittaessa esimerkiksi infrapunavastaanotinta, erittäin nopeaa lähiverkkoyhteyttä tai Raspberry Pi-tuoteperhettä halvempaa hintaa on Orange Pi One sopivampi ratkaisun AKOJ:n keskusyksiköksi.

2.2.3 Keskusyksiköiden ohjelmisto

Keskusyksikön ohjelmiston on minimissään reititettävä päätelaitteelta tuleva komento toimilaitteelle. Ohjelmiston on tarjottava käyttöliittymä jokaiselle järjestelmän päätelaitteelle. Tästä käyttöliittymästä olisi pystyttävä sekä ohjaamaan laitteita että lisäämään ja konfiguroimaan laitteita osaksi järjestelmää.

Keskusyksikön ollessa pienoistietokone on mahdollista asentaa valmis kodinohjausohjelmisto, josta suosittuja avoimia esimerkkejä ovat mm. openHAB tai Domoticz. Näiden tarkoitus on tehdä kodin eri laitteiden ohjaamisesta ja sen toiminnan ohjelmoinnista yksinkertaista. Molemmat tukevat lukuisia eri kodinohjauksen protokollia, ja tarjoavat käyttäjälle käyttöliittymän [8, 9]. Esimerkkinä OpenHAB sisältää Javaa käyttävän palvelinohjelmiston, jota ajetaan esimerkiksi pienoistietokoneella. Se tarjoaa verkkokäyttöliittymän lähiverkkoon sekä toimii erikseen ladattavien älypuhelinsovellusten kanssa. OpenHAB:in tukemiin teknologioihin lukeutuu mm. Bluetooth, DropBox tallennustilaksi, Google Calendar automaatioon, pienoistietokoneiden GPIO-liitäntän käyttäminen, Insteon-, Z-Wave-, Belkin WeMo-protokollat. Myös sarjadataan lähettäminen sekä komentorivin komentojen ajaminen on mahdollista OpenHAB:in avulla. [8]

OpenHAB:in toiminnallisuus on mahdollista saavuttaa myös ajamalla verkkopalvelinta keskusyksikössä [15]. Verkkopalvelin tarjoaa käyttäjälle verkkosivun josta voi muuttaa toimilaitteiden tilaa. Palvelimen logiikan määrää tällöin esimerkiksi PHP, Ruby tai Python-kielinen skripti, joka pystyy käyttäjän tekemän toiminnon seurauksena ajamaan ohjelmia, jotka vastaavasti ohjaavat halutun laitteen lähtöjä. Käyttäjä joutuu itse ohjelmoimaan jokaisen laitteen toiminnan skriptiin.

2.3 Yhteydet

Laitteiden liittämiseksi toisiinsa tarvitaan niiden välille yhteys, jonka kautta voidaan välittää viestejä. Kodinohjausjärjestelmän tapauksessa yhteyden on katettava koko koti. Lämpötila-arvon välittämiseen vaaditaan vain kaksi tavua Cayenne LPP protokollan mukaan [16], joten voidaan

olettaa 20 tavun riittävän useimpiin kodinohjauksen toimintoihin. Yhteydet voidaan jakaa langallisiin ja langattomiin yhteyksiin.

2.3.1 Langalliset yhteydet

Kodin langallisista yhteyksistä ylivoimaisesti yleisin on ethernet-pohjainen langallinen lähiverkko eli LAN. Se on yleinen kodeissa, ja sitä kautta uuden johdon vetäminen laitteelle ei eroa minkään muun kuluttajalaitteen liittämisestä lähiverkkoon. Langallinen lähiverkko käyttää ethernet-kaapeleita, joita on saatavilla kuluttajaelektroniikkaliikkeistä. Jo vanhempi Cat5- kaapeli on tarkoitettu maksimissaan 100Mb/s nopeudelle, ja kaapelin hinta on kirjoittamishetkellä Cat5 kaapelille noin 0.6€/m. Taulukon 2 tuloksista voidaan nähdä, että kaikki yhteydet pystyvät kattamaan AKOJ:n vaatiman kantaman, ja täyttävät AKOJ:n komponentin vaatimukset. CANbus-moduulin hinta on tässä tapauksessa pienin, mutta hinnat sisältävät pelkän IC:n, ja harrastajalle sopivien helposti liitettävien laitteiden suhteelliset hinnat voivat erota taulukon tuloksista. Digikey:n DP83848KSQ-esimerkkimoduulin hinta on kalliimpi kuin “Ethernet Shield W5100 for UNO”-moduulin 3.90 € ebay.com:ista 22.4.2018, joka kuvaa tarkemmin Ethernet-yhteyden hintaa AKOJ:n komponenttiin.

Taulukko 2. Yli kahdenkymmenen metrin kantamaan kykenevät, AKOJ:n sopivien OSI-mallin PHY-tason määrittelevien standardien teknisiä tietoja. Hinnat digikey.fi moduulin yksittäishinta 16.4.2018. [17, 18, 19, 20]

	Johtimia	Tyypillinen yhteysnopeus	Esimerkkihinta PHY-tason moduulille [€]	Tyypillinen vedon pituus
Ethernet	4	100 Mb/s	24,18 (DP83848KSQ/NOPB)	< 100 m
RS-485	2-4	1 Mb/s	2,15 (DS36277TMX/NOPB)	< 1 km
CANbus	4	125 kb/s	1,40 (TH8056KDC-AAA-008-RE)	< 500 m
KNX	2	9600 baud/s	6,88 (NCN5120MNTWG)	< 350 m

Käytettäessä langallista yhteyttä voidaan usein tuoda samalla johdolla virta toimilaitteelle. Tämän standardin nimi käytettäessä ethernet:iä on PoE eli Power over Ethernet. Se vaatii joko PoE:ta tukevan reitittimen, tai teholähteen kaapelin väliin sekä sitä tukevan vastaanottimen. PoE voi toimia standardin mukaan kahdella tavalla. B-moodissa voidaan johtaa ethernetin tarjoama DC-virta suoraan käytettävän toimilaitteen tehotuloon, kun A-moodin tapauksessa virta tuodaan laitteelle yhteismuotoisesti datalinjojen yhteydessä. Tehoa vastaanottavan laitteen on tuettava sekä A- että B-variantteja. [21]

2.3.2 Langattomat yhteydet

Avoimen kodinohjauksen kannalta tärkeää on kantama, ja akkukäyttöisillä toimilaitteilla vähävirtaisuus. Kodinohjaukseen sopivia protokollia ovat Bluetooth ja Wifi, sekä solmuverkkojen toteutuksessa ZigBee ja DigiMesh.

Bluetooth ja Langaton Lähiverkko

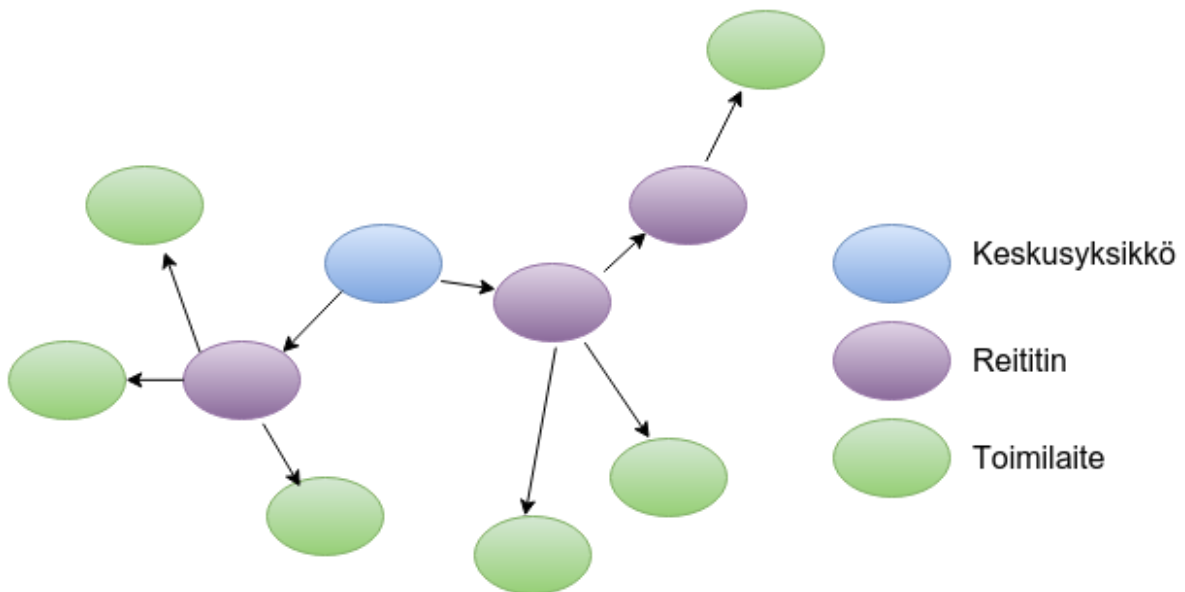
Eri Bluetooth-standardit ovat langattoman tiedonsiirron protokollia joita on käyttänyt 30 000 eri valmistajaa yli 8.2 miljardissa laitteessa [22]. Protokolla määrittelee yhteydenmuodostuksen, joka vähentää AKOJ:n kulutettua kehitysaikaa [23]. Bluetooth-standardeista merkittäviä ovat Bluetooth BR/EDR (v2.0) ja Bluetooth LE (BLE, v4.0). BR/EDR eli basic rate/enhanced data rate, tarjoaa jatkuvan yhteyden lyhyemmälle kantamalle, ja mahdollistaa vain yhden yhteyden kerrallaan laitteeseen, johon yhdistetään [23]. BR ja EDR soveltuvat Bluetoothia kehittävän Bluetooth SIG:n mukaan sovelluksiin jossa lähetetään jatkuvaa datalähdettä, ja tiedonsiirtonopeus on tärkeää [23]. LE, low energy, toimii pidemmällä kantamalla lyhyissä jaksoissa, joka säästää Bluetooth SIG:n mukaan huomattavasti virrankulutuksessa [24]. Texas Instruments on mitannut CC2541 Bluetooth LE moduulilleen keskimääräisen virrankulutuksen, kun laite on jatkuvassa yhteydessä. 24 μ A tulos antaisi yleiselle CR2032 nappipariston kestoksi noin 400 päivää [25]. Akkukäyttöisen AKOJ:n komponentiksi sopii hyvin BLE spesifikaation mukaan toimiva Bluetooth-laite. Bluetooth SIG on lisäämässä vuoden 2016 aikana myös solmuverkkotuen protokollaan, jolloin kodin laitteiden verkon muodostaminen ei vaatisi niin suurta työmäärää [26].

WiFi-yhteydellä voidaan muodostaa yhteys Bluetooth:ia pidemmälle etäisyydelle, mutta WiFi:n suurempitehoinen signaali vaatii enemmän virtaa. Virrankulutus toimintatilassa ESP8266 moduulin datalehden mukaan on keskimäärin 80mA, joka olisi moninkertainen verrattuna Bluetooth LE -laitteiden keskimääräiseen kulutukseen. WiFi yhteydellä on myös mahdollista saavuttaa matala kokonaisvirrankulutus säilyttämällä jo avatut WiFi yhteydet avattuina [27]. Tämä voi johtaa joissain tilanteissa BLE-laitteita alempiin kokonaisvirrankulutuksiin [27].

Solmuverkko

Langattomat kodinohjauslaitteet saatetaan haluta sijoittaa kauas toisistaan. Laitteiden etäisyys voi kasvaa suuremmaksi kuin yhden langattoman yhteyden kantama on. Solmuverkolla voidaan saavuttaa pidempi kantama kuin suoralla yhteydellä laitteiden välillä [26]. Solmuverkossa viesti keskusyksiköltä toimilaitteelle kulkee laitteelta toiselle, kunnes se saavuttaa päämääränsä [28]. Kaksi vaihtoehtoa solmuverkon toteuttamiseen ovat ZigBee ja DigiMesh protokollat. Molemmat tarjoavat omat etunsa erilaisiin solmuverkkojen sovelluksiin ja käyttötarkoituksiin [28]. Selvin ero

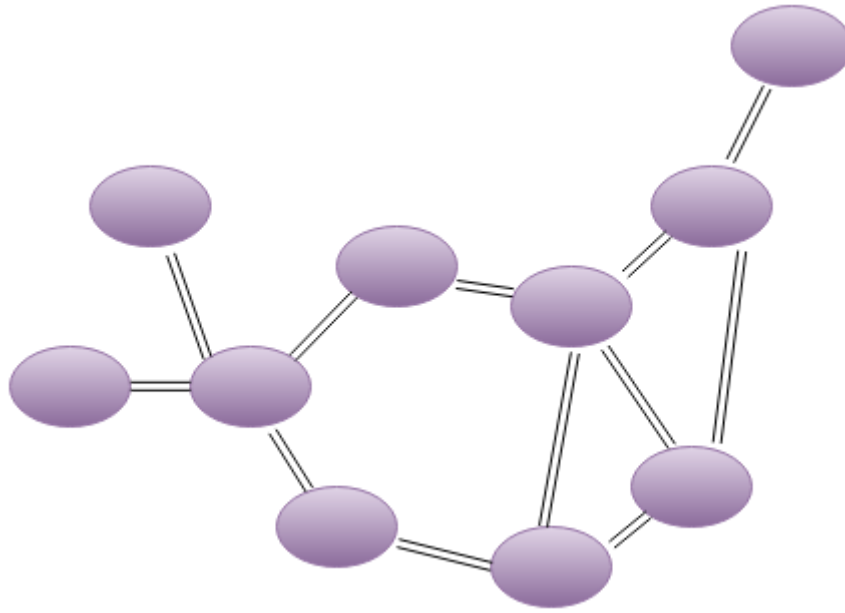
protokollien välillä ilmenee verkon rakenteesta ja sen osista. ZigBee verkko muodostuu kolmesta osasta, joita ovat koordinaattori, reititin ja loppulaite. Tämä rakenne vastaa hyvin edellä määriteltyä keskusyksiköllisen kodinohjausjärjestelmän rakennetta. Tällöin keskusyksikköön liitetään koordinaattori, joka määrittää verkon alun ja säilyttää tietoa verkosta. Reitittimet välittävät tietoa Zigbee:tä hyödyntäviin toimilaitteisiin. Tällöin järjestelmän rakenne on kuvan 4 mukainen.



Kuva 4. Hierarkkinen 3-osainen solmuverkkorakenne.

Verrattuna Digimesh-protokollaan ZigBee:n yhteysmoduulit ovat halvempia, ja niiden lepotilan virrankulutus on pienempi. ZigBee protokollan heikompia ominaisuuksia on loppulaitteiden mahdollinen nukkuminen ja verkon haavoittuvuus yhteysvioille. Jos reititin vioittuu, voi suuri osa verkkoa jäädä ilman yhteyttä ohjaukseen. Yhteyksien taajuus on pääasiassa 2.4GHz, mutta matalampiakin taajuuksia, 900Mhz ja 868Mhz, tuetaan, mutta ne eivät ole laajasti saatavilla. Yhteensopivia ZigBee laitteita on saatavilla monelta valmistajalta. [29]

DigiMesh protokolla toteuttaa solmuverkosta toisenlaisen rakenteen. DigiMesh-protokollan laitteilla ei ole hierarkiaa, eli ne voidaan yhdistää toisiinsa vapaasti kuvan 5 mukaisesti. Tämä mahdollistaa yksinkertaisen verkon käyttöönoton ja laajentamisen. Tasavertaisuus ja vapaus yhteyksien muodostamisessa mahdollistaa vikatilanteessa varmemman toiminnan. Verkon yhden osan vioittuessa voi viestin siirtää vaihtoehtoista reittiä, jolloin yhteyden katkeamiselta vältytään. DigiMesh sallii jokaisen verkon osan nukkumistilan, mikä säästää laitteiden virrankulutuksessa. DigiMesh-protokollaa hyödyntäviä laitteita myy vain Digi International. [28]



Kuva 5. Tasavertainen solmuverkkorakenne, jossa jokainen osa voi toimia reitittimenä ja välittää tietoa eteenpäin.

Molemmat edellä mainituista solmuverkkoprotokollista toimivat 2.4 Ghz taajuudella, ja tarjoavat 250 Kbps tiedonsiirtonopeuden. ZigBee protokollaa on muun muassa käytetty sensoriverkkojen luomiseen suuriin rakennuksiin [30], [31]. Verkon kattavuus ja akkukäytön mahdollistava matala virrankulutus tekevät molemmista solmuverkkoprotokollista hyvän vaihtoehdon AKOJ:ään.

2.3.3 Langattomien yhteyksien laitteisto

Pääasiassa langattomista moduuleista muodostetaan UART-yhteys niitä ohjaavan mikrokontrollerin välille. Kuitenkin esimerkiksi ESP8266-moduuli sisältää ohjelmoitavan mikrokontrollerin, jolloin tarvittava toimilaitteen ohjauslogiikka voidaan sisällyttää jo itse moduuliin [32]. Taulukon 3 laitteet HC-05 moduulia lukuunottamatta tukevat alle 105 μA virransäästötiloja, ja useimmat voidaan ajaa alle 5 μA kuluttaviin tiloihin. Näissä tiloissa moduulit eivät kuitenkaan pysty vastaanottamaan viestejä, ja sopivat siis vain lähettämään tietoa esimerkiksi ajastimen loppuessa tai kytkintä painettaessa.

Taulukon 3 tulosten perusteella HC-05 moduulin kantama on huomattavasti kilpailijoitaan lyhyempi. HC-05 on kuitenkin taulukon suosituin. Laite ei sovellu vähävirtaisiin sovelluksiin, sillä siinä ei ole virransäästötiloja. Hieman kalliimman CC2540 moduulin tarjoama 50 metrin kantama ja BLE tekevät siitä sopivan AKOJ:n langattomaan viestimiseen. ESP8266 on joukon suosituimpia, ja tarjoaa WiFi-yhteyden halpaan hintaan. Laite soveltuu hyvin AKOJ:n langattomaan viestimiseen, jos hyödynnetään virransäästötiloja. ESP8266 kantama riittää AKOJ:än

toteuttamiseen, jos oletetaan WiFi-verkon kattavan koko kodin. Hyödyntämällä laitteen mikrokontrolleria voidaan säästää laitekustannuksissa.

Taulukko 3. Langattomien yhteyksien moduulien AKOJ:n kannalta olennaiset tiedot. Kantamat sisätiloissa. Hinnat 11.4.2016 ebay.com ja XBee laitteille digikey.fi. Lähetysvirralla tarkoitetaan laitteen virrankulutusta kesken tiedonsiirron. Kantamat valmistajien tarjoamat arvot. Hakutulokset 22.4.2018. *Vaihteluväli parinmuodostuksen aikana. [29, 33, 34, 35, 36]

Laite	Hakutulosten määrä	Protokolla	Hinta	Kantama	Lähetysvirta
“HC-05”	24 500 000	Bluetooth BR/EDR	1.60 €	9 m	8 mA (30-40 mA*)
TI CC2540	425 000	Bluetooth LE	2.90 €	50 m	18.6 mA
TI CC2564	32 600	Bluetooth Dual-mode	8.70 €	50 m	40.5 mA
Digi XBee ZigBee	705 000	ZigBee	15.00 €	60 m	33 - 47 mA
Digi XBee DigiMesh	13 800	DigiMesh	16.80 €	30 m	45 mA
Digi XBee-PRO	115 000	ZigBee	28.30 €	90 m	120 mA
Microchip MRF24J40MA	21 900	ZigBee	10 €	20 m	23 mA
Espressif ESP8266	6 730 000	WiFi	1.80 €	Riippuu WiFi verkosta	80 mA

Kalliimmat Digi:n valmistamat moduulit voivat sopia solmuverkkoominaisuuksiensa puolesta hyvin kodinohjausjärjestelmän langattomaan viestimiseen, mutta niiden verrattain matala suosio voi tarkoittaa suppeampaa tukea harrastajalle. Näiden laitteiden matalatehoinen tiedonsiirto ja verkon osien nukkuminen mahdollistavat matalan virrankulutuksen. ZigBee:n protokollaa tukevat laitteet ovat muita taulukon 3 moduuleita kalliimpia. Edullisimpien XBee moduulien hinta on yli 10 euroa. Solmuverkon muodostaminen Zigbee-, tai DigiMesh- laitteilla on nopeampaa kuin muilla laitteilla [31].

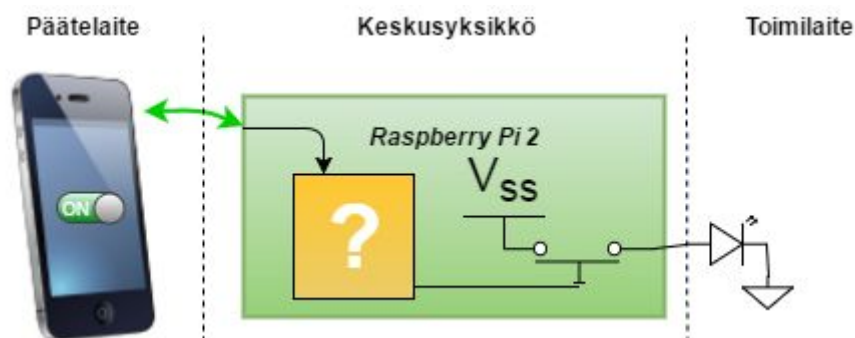
3 TAPAUSTUTKIMUS

Avoimen kodinohjausjärjestelmän rakennetta ja osia tutkittiin toteuttamalla tapaustutkimus AKOJ:n muodostamisesta. Toteutuksessa tuodaan tarkemmin esille kuinka laitteet toimivat yhdessä ja kuinka saadaan aikaan kokonainen toimiva järjestelmä, jossa päätelaitteelta lähetetyllä ohjausviestillä muutetaan toimilaitteen tilaa. Määrättiin tapaustutkimuksen AKOJ:n sisältävän langattomat yhteydet päätelaitteisiin ja toimilaitteisiin, sekä mahdollisuuden lisätä toimilaitteita järjestelmään. Valintojen tekniset perusteet on esitetty kohdissa 3.1 ja 3.2. Laitteiston maksimihinnaksi määrättiin 100 €. Laitteita ostettavaksi etsiessä selvisi että laajin valikoima ja matalimmat hinnat löytyivät kaukoidän verkkokaupoista. Poikkeuksena tähän suuri osa Raspberry Pi:stä tuotetaan Isossa Britanniassa [37], ja näin niiden hinta voi olla jopa alhaisempi Euroopan sisältä ostettaessa.

Järjestelmä rakennettiin keskusyksikön ympärille, sillä tämä antaa enemmän vaihtoehtoja järjestelmän yhteyksiin päätelaitteista toimilaitteisiin, ja sen katsottiin helpottavan järjestelmän rakentamista. Järjestelmään valittiin keskusyksiköksi silloinen uusien Raspberry Pi-versio: 2 (Pi). 45 €:n hinta ja mittava yhteisön tuki olivat perusteita valinnalle. Pi sisältää järjestelmän vaatiman liitettävyyden.

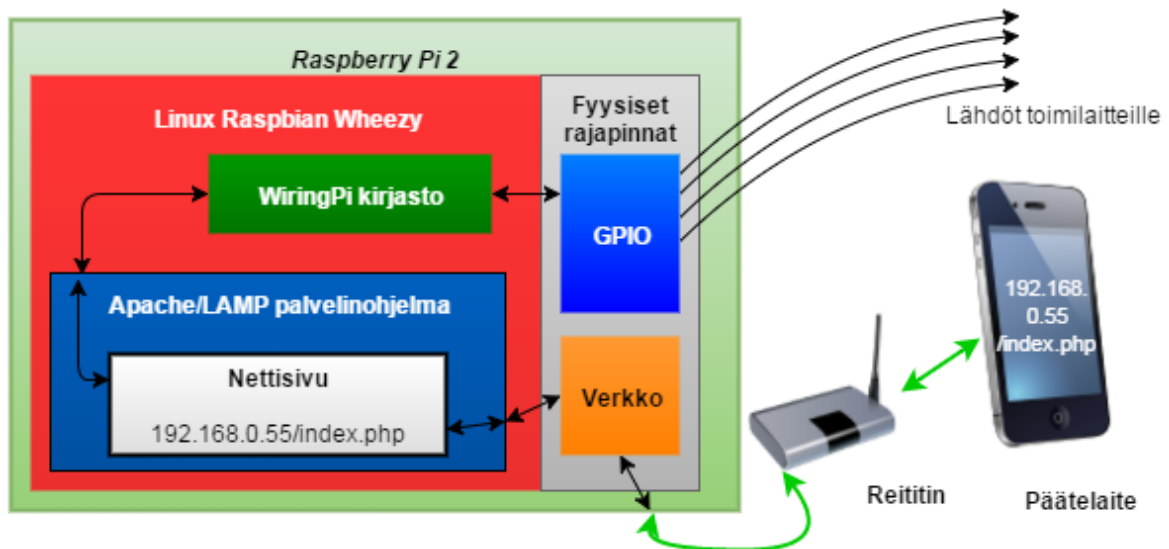
3.1 Yhteys päätelaitteen ja Pi:n välillä

Päätelaitteen ja Pi:n välisen yhteyden sovellus on vaihtaa Pi:n GPIO:iden tilaa älypuhelimesta (kuva 6). Toiminnon toteuttaminen esittää vaaditut vaiheet käyttöliittymästä lähtevän signaalin välittämiseksi fyysisen GPIO:n tilanmuutokseksi.



Kuva 6. 3.1- osion kuvaaman järjestelmän tavoiterakenne. Kuvattuna toimilaitteena on LED.

Tapaustutkimuksen yhteysmuodoksi päätelaitteen ja Pi:n välille valittiin lähiverkko. Ethernet-kaapeli liitettiin Raspberry Pi:n ja reitittimen välille. Reitittimestä määritettiin Raspberry Pi:n IP kiinteäksi, jotta järjestelmän käyttöliittymä löytyy aina samasta osoitteesta langattomaan lähiverkkoon yhteydessä olevan päätelaitteen selaimessa. Käyttöliittymän ja palvelinohjelman valinta suoritettiin openHAB:in ja verkkopalvelimen välillä. OpenHAB:in asennetaan seuraavasti: asennetaan openHAB, asennetaan ohjattavien laitteiden moduulit, konfiguroidaan moduulit, konfiguroidaan haluttu käyttöliittymän muoto [8]. Verkkopalvelin taas vaatii palvelinympäristön asentamisen, kirjaston asentamisen GPIO:iden ohjaamista varten ja lopuksi sivuston lähdekoodin siirron palvelimelle. Sillä tavoitteena oli vain kytkeä LEDiä päälle ja pois, ei tarvittu openHAB:in tarjoamaa erittäin tehokasta talon laitteiden kartoitusta, asentamista ja sen tuomaa lisätyötä. Valittaessa verkkopalvelin, tarvittiin sivusto joka tarjoaa käyttöliittymän ja pystyy asettamaan esimerkiksi kytkemään LED:ejä päälle tai pois. Nämä vaatimukset täyttävä avoimen lähdekoodin ratkaisu löytyi valmiina [15]. Ulkoasuun tehtiin muutoksia, ja tämä ohjelmisto otettiin käyttöön kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 7. Osion järjestelmän rakenne. Palvelinohjelma tarjoaa nettisivut lähiverkkoon, ja langattomassa lähiverkkoyhteydessä oleva päätelaite voi olla vuorovaikutuksessa nettisivujen kanssa. Palvelinohjelma ajaa WiringPi-kirjaston komentoja käyttäjän syötteen mukaisesti.

3.1.1 Käyttöjärjestelmä ja GPIO-kirjasto

Raspberry Pi:lle on monta käyttöjärjestelmävaihtoehtoa. Avoimen lähdekoodin GNU+Linux jakeluita eli käyttöjärjestelmäversioita löytyy kymmenittäin eri käyttötarkoituksiin. Jakeluiden tarkoitukset eroavat paljon: mahdollistaa Pi:n helppo ohjelmointi koululaisten projekteihin, toimia

pöytäkoneen korvikkeena tai tarjota alusta palvelimelle. Windows 10 IoT on myös julkaistu alustalle. [24]

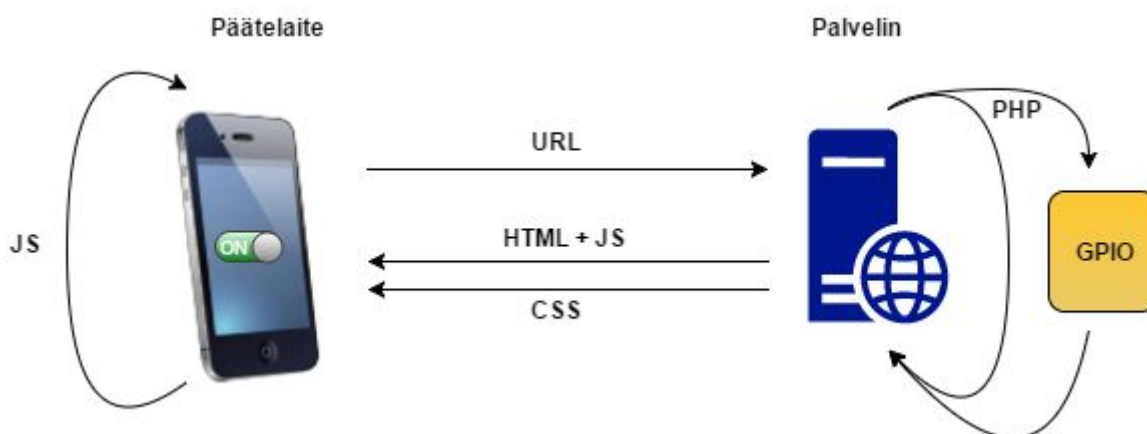
Kattavin tuki on Raspberry Pi Foundation:in omalle Raspbian jakelulle. Se on yleiskäyttöjärjestelmä kaikille Raspberry Pi versioille. Projektiin valittiin rakennushetkellä uusin Wheezy-versio. GPIO:ta ohjaamaan valittiin WiringPi-kirjasto, joka tarjoaa rajapinnan Pi:n GPIO:n kirjoittamiseksi ja lukemiseksi.

3.1.2 Palvelimen tarjoama verkkosivusto

Tässä kappaleessa esitellään käytetyn verkkosivuston asennus ja toiminta. Sivusto koostuu neljästä eri ohjelmointikielestä, jotka yhdessä saavat halutun toiminnallisuuden aikaan. Taulukossa 4 on listattu karkea kuvaus kielten tehtävistä, ja kuva 8 esittää missä verkkosivuston ohjelmointikieliä ajetaan järjestelmässä.

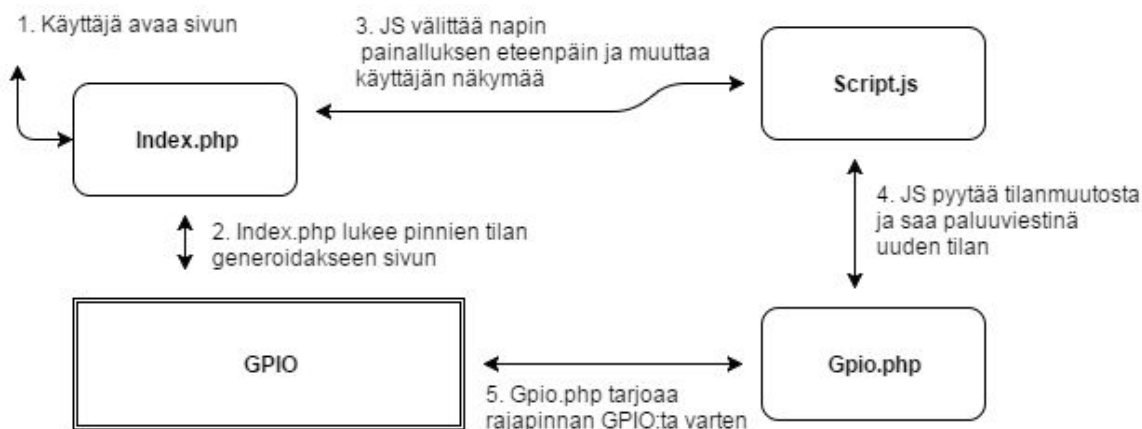
Taulukko 4. Verkon ohjelmointikielten tehtävät järjestelmässä.

HTML	Määrää verkkosivun rakenteen ja tekstin, kuvat.
CSS	Kuvaa selaimelle kuinka muotoilla HTML
PHP	Vain palvelimella ajettava koodi, joka tuottaa HTML:ää lähetettäväksi ja pystyy tekemään muutoksia palvelimella
JS	Vain päätelaitteella ajettava koodi, mahdollistaa verkkosivun muuttamisen lataamatta sitä uudestaan



Kuva 8. Verkon ohjelmointikielien toimintaympäristöt järjestelmässä. URL on verkkoselaimeen kirjoitettava yhteysosoite.

Järjestelmän keskusyksikön ohjelmiston ydin on verkkopalvelimen ja WiringPi-kirjaston yhteensopivuus, ja tämän hoitaa esimerkkitoteutuksessa PHP. Palvelinpuolen ohjelmointikielille on olemassa muitakin vaihtoehtoja (mm. Python, Lua, Ruby), mutta sivusto käyttää vain PHP:tä. PHP pystyy ajamaan palvelintietokoneella komentoriviohjelmaa, ja tätä ominaisuutta hyödynnetään sivustossa. Ohjelman rakenne on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Tiedon kulku verkkokäyttöliittymän ja GPIO:n välillä Raspberry Pi:n palvelinsovelluksessa.

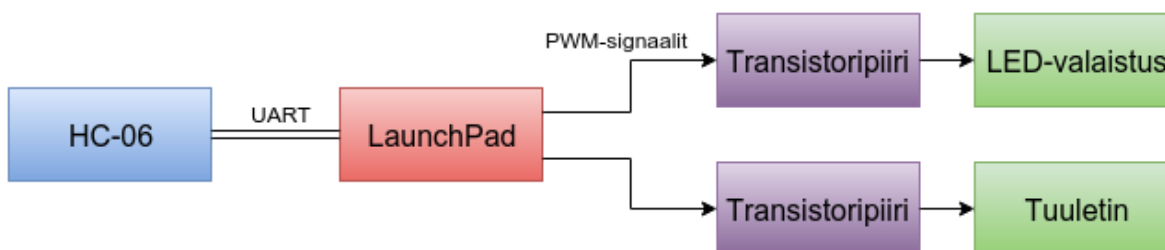
Järjestelmään on mahdollista lisätä laitteita tai asettaa Pi suorittamaan muita käskyjä muokkaamalla lähdekoodia. Laitteiden lisääminen tällä tavoin käsin on työlästä, sillä eri laitteille on oltava komentoriviohjelma, jolla ohjataan laitetta. Ohjelmiston avulla yhteys päätelaitteen ja Pi:n välillä saatiin luotua, ja GPIO:ta oli mahdollista ohjata esimerkiksi lähiverkkoon kytketystä älypuhelimesta.

3.2 Yhteys toimilaitteen ja keskusyksikön välillä

Osiossa esitellyn järjestelmän tarkoitus on siirtää ohjausviesti älypuhelimelta toimilaitteelle, joka sijaitsee samassa huoneessa. Tämän osan liittäminen keskusyksikölliseen järjestelmään on mahdollista vaihtamalla yhteyden muodostuksen hallinta ja viestin lähettäminen keskusyksikön tehtäväksi älypuhelimien sijasta.

3.2.1 Käytetyt laitteet

Viestin lähettäminen päätelaitteelta suoraan toimilaitteelle toteutettiin käyttämällä HC-06 moduulia ja MSP430G2553 mikrokontrolleria LaunchPad kehitysalustalla. Vaatimuksena oli vain yksi yhtäaikainen yhteys lyhyellä kantamalla, joten HC-06 moduuli valittiin edullisuuden ja yksinkertaisuuden vuoksi. Valittu MSP430 sarjan mikrokontrolleri oli Texas Instruments:in valmistamien edullisemmasta päästä ja sen ominaisuudet riittivät toimilaitteiden vaatimien PWM-ohjaussignaalien luomiseen. Päätelaitteena käytettiin Android-pohjaista älypuhelinia ja toimilaitteena käytettiin LED-nauhaa ja tuuletinta. Valaistusta ja tuuletinta ohjattiin mikrokontrolleriin PWM-signaalia tuottaviin pinneihin kytketyillä transistoripiireillä kuvan 10 mukaisesti.



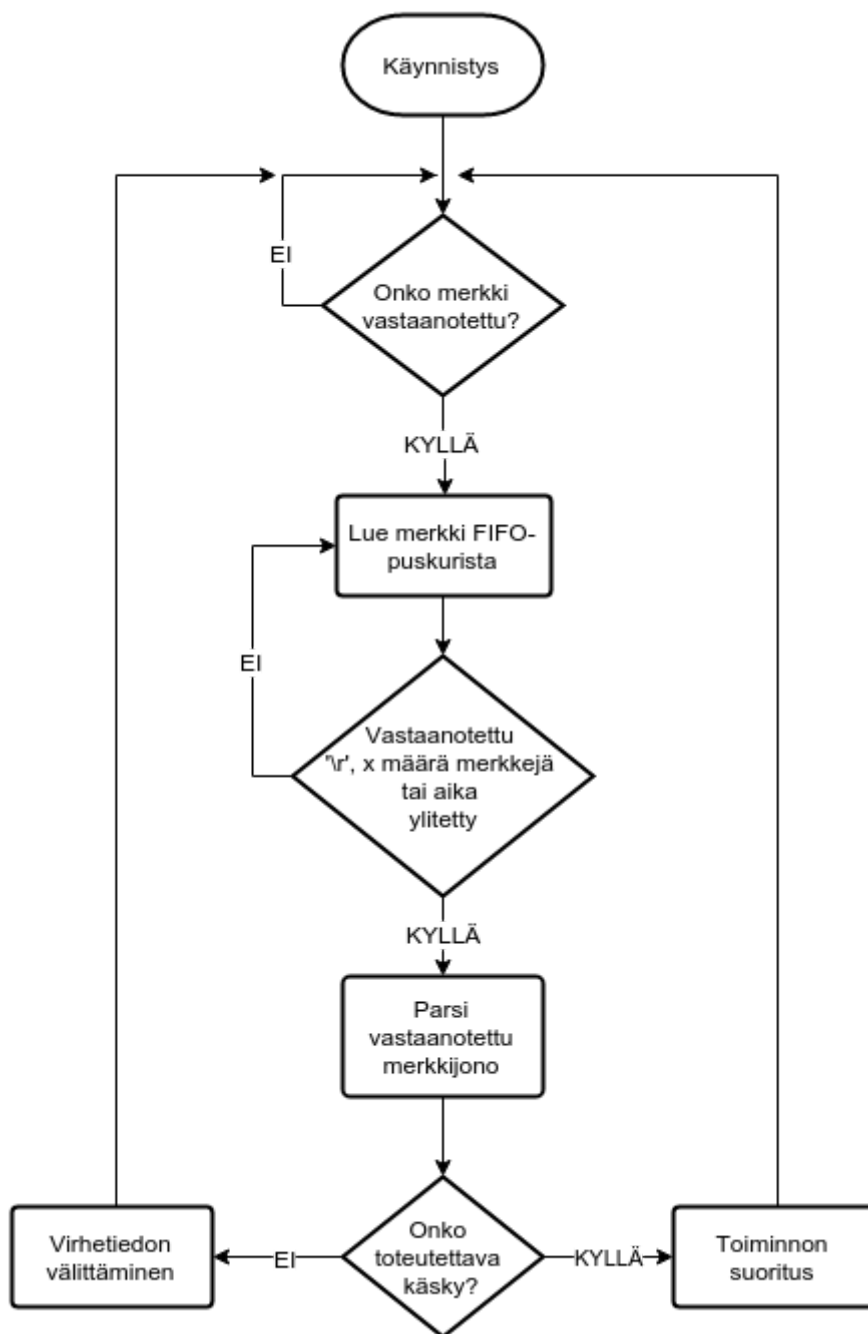
Kuva 10. Toimilaitteen ohjauksen osat. HC-06 Bluetooth moduuli vastaanottaa ohjausviestin siihen muodostetun yhteyden kautta, joka tulkitaan ja toteutetaan mikrokontrollerissa.

Android laitteella on mahdollista lähettää viesti käyttämällä Bluetooth terminaali sovellusta, joita on ilmaiseksi tarjolla useita. Oman sovelluksen toteutus on myös mahdollista, jolloin komentojen kirjoittamisen sijaan voidaan toteuttaa käyttöliittymä napeilla ja muilla säätöön hyödynnettävillä ohjelmakomponenteilla. Android laitteelta lähetetty viesti vastaanotetaan HC-06 moduuliin, johon yhteyden muodostus tapahtui älypuhelimien sovelluksen avulla, löytämällä oikea laite ja syöttämällä salasana. HC-06 siirtää viestin UART-väylän kautta mikrokontrollerille, jossa viesti

parsitaan ja toteutetaan viestin mukainen toiminto. Mikrokontrolleri hoitaa viestin vastaanottamisen ja palautteen lähettämisen, sekä viestien parsimisen ja toimintojen toteuttamisen sille kirjoitetun C-kielisen koodin mukaisesti.

3.2.2 Ohjelman rakenne

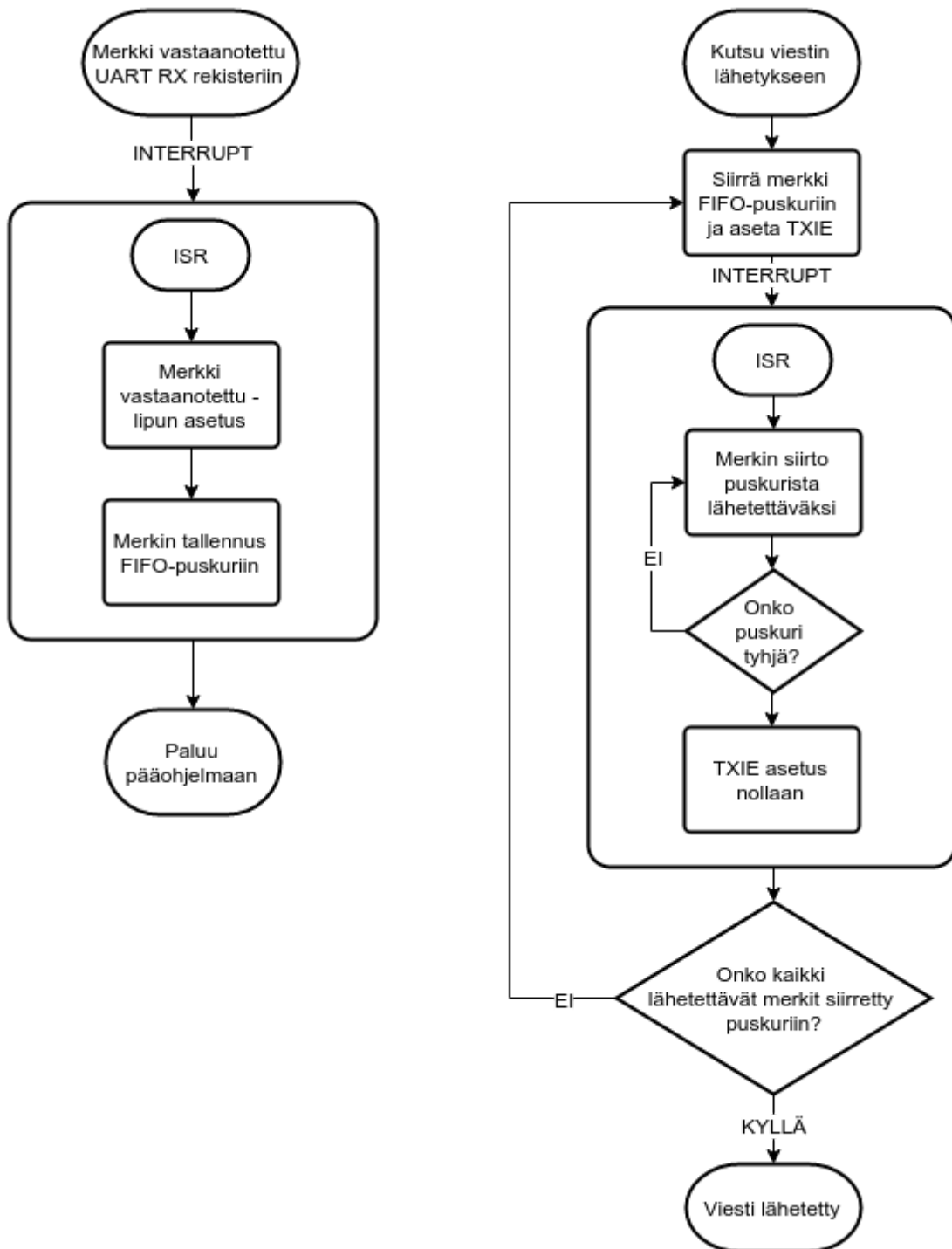
Pääohjelman suorituksen kulkukaavio on kuvassa 11. Tarvittavien GPIO:ien, UART yhteyden ja PWM-signaalin alustamisen jälkeen ohjelma jää odottamaan vastaanotettavaa merkkiä. Kun ohjelma on vastaanottanut merkkejä rivinvaihtoon, ennalta määrättyyn määrän tai aikakatkaisuun asti, parsitaan merkkijono ennalta määritellyn käskymuodon mukaisesti. Jos merkkijono ei ole ymmärrettävä käsky ilmoitetaan virheestä ja palataan odottamaan seuraavaa merkkiä. Hyväksyttävän käskyn tapauksessa suoritetaan sitä vastaava toiminto, esimerkiksi looginen XOR operaatio GPIO:n tilalle, jolla valo voidaan sytyttää tai sammuttaa. Toiminnon jälkeen palataan odottamaan seuraavaa viestiä.



Kuva 11. Toimilaitteen ohjelmarakenne. Pääohjelman suoritus kaavio. Merkkien vastaanotto parsittavaksi ja lähetys virhetietoja ja toiminnon palautetta varten tarkemmin kuvassa 12.

UART-vastaanotto ja -lähetys on mahdollista toteuttaa käyttämällä keskeytystoimintoja tai määräämällä pääohjelman tarkistamaan vastaanotettua viestiä jatkuvasti. Keskeytyspohjainen toteutus valittiin ohjelmalle. Merkin saavuttua UART-puskuriin se luetaan ISR funktion sisällä, mitä toinen keskeytys ei voi keskeyttää, jolloin merkit tulevat aina luetuksi. Viestin lähettäminen käyttämällä ISR funktiota mahdollistaa lähetyksen ajoittamisen varmistuksen. Kuvan 12 mukaisella

rakenteella ei voida ylikirjoittaa lähetettävää merkkiä ennen kuin se on lähetetty, tai keskeyttää viestin lähetystä kesken puskurilta siirron.



Kuva 12. Toimilaitteen ohjelmarakenne. Tiedon lähetys ja vastaanotto UART-yhteydellä. Keskeytyksiin perustuva toiminta.

4 POHDINTA TAPAUSTUTKIMUKSESTA

4.1 Yhteisö ja sen osana oleminen

Työn aikana selvisi, että hyvään avoimeen toteutukseen vaaditaan sekä laitteiston että ohjelmiston puolesta panostusta. Hyvänä esimerkkinä on suursuosion saavuttanut Raspberry Pi-sarja. Ohjelmistopuolella yhteisön kehitys jatkuu huomattavasti pidemmälle kuin laitteiston puolesta. Laitteiston on vain oltava “riittävän hyvä”, jotta sille voidaan tehdä hyödyllistä ohjelmakoodia. Avointa järjestelmää tehdessä on tärkeää ymmärtää kuinka käytetyt laitteet ja ohjelmat toimivat jotta pystyy konfiguroimaan omaa järjestelmää, vaikkakin juuri esimerkiksi Raspberry Pi:hin pohjautuvia ohjeita pystyy seuraamaan ymmärtämättä mitään esimerkiksi linuxista.

4.2 Tietoturva

Kodin ohjaaminen älypuhelimella tuo paljon mahdollisuuksia kodin käytettävyyteen, mutta samat mahdollisuudet avaavat uusia ovia tunkeutujille. Oikealla suhtautumisella tietoturvaan voidaan riski minimoida, mutta perinteisen valokatkaisijan tietoturvasoon ei voida päästä. Yksittäinen avoin järjestelmä ei ole kiinnostava kohde tunkeutujalle, mutta kaupalliset järjestelmät ovat houkuttelevampia. Yhden haavoittuvuuden löytäminen riittää tuhansien järjestelmien tietoturvan kyseenalaistukseen. Jos ohjausjärjestelmä ohjaa talon turvallisuudelle kriittisiä osia eli esimerkiksi valaistusta, lukkoja, lämmitystä tai ilmanvaihtoa, tietoturvan kyseenalaistuminen johtaa myös talon turvallisuuden kyseenalaistumiseen. Itse asennettu järjestelmä on myös asentajan itsensä vastuulla, kun taas kaupallisen järjestelmän ollessa kyseessä löytyy vastuussa oleva yritys.

4.3 Sensorit ja automaatio

Lähes kaikki kotiautomaatiojärjestelmät sisältävät tavan kerätä tietoa kodista ja hyödyntää sitä tuomalla se käyttäjän nähtäville tai määräämään laitteiden ohjausta. Yksinkertaista automaatiota löytyy monesta kotiin tarkoitettuun järjestelmästä, esimerkkinä myDLink. Vaativampaa automaatiota varten vaaditaan kuitenkin usein kalliimpia laitteita. Laitteita voidaan silloin ajastaa tai ohjelmoida suorittamaan toiminnon jonkin sensoritiedon pohjalta, muodostaen lopulta kompleksisia toimintalogiikoita. Sama toiminnallisuus voidaan rakentaa avoimeen järjestelmään, ja juuri esimerkiksi openHAB tarjoaa hyvät työkalut tähän.

4.4 Raspberry Pi 3

Tapaustutkimuksessa käytettiin Raspberry Pi 2-versiota, sillä se oli uusin ja tehokkain malli syksyllä 2015. Sittemmin Raspberry Pi Foundation on julkaissut Pi:sta 3-version. Sen suurin muutos on wifi- ja bluetooth-toiminnallisuuden löytyminen suoraan laitteen puolesta. Tapaustutkimus-järjestelmälle tämä tarkoittaisi erillisen bluetooth-moduulin tulevan tarpeettomaksi ja wifi-yhteyden hyödyntämistä. Käytettäessä vain bluetoothia tai Wifiä keskusyksikön ja toimilaitteiden välillä, Pi voisi vaatia vain virran USB-liittimen kautta, tehden sijoituksesta yhä vapaampaa. Pi 3 voi samanaikaisesti toimia Wifi access point:ina ja liittyä kodin verkkoon, ja tästä on jälleen hyötyä kodinohjauksessa. Esimerkiksi nyt Pi voisi pyytää Wifi-sensoreilta tietoa, ja tarjota sen näkyviin verkkosivulla, kaikki langattomasti.

4.5 Laajempi koti-integrointi

Tapaustutkimuksessa keskityttiin jälkeempään asennettavaan järjestelmään. Jos kuitenkin rakennetaan taloa, kannattaa taloon tehdä muutamia poikkeavuuksia, jotka voivat myöhemmin helpottaa avoimen kodinohjausjärjestelmän asennusta. Esimerkiksi vetää lisäkaapelointia laitteille. Cat5-kaapeli sisältää kahdeksan johdinta, on halpaa ja saatavilla kiinteisiin asennuksiin tarkoitettu.

4.6 Ohjaussovellus

Päätelaitteella ohjaaminen vaatii jonkinlaisen sovelluksen järjestelmän ohjaamiseen. Sovellus voi olla suoraan laitteelle kehitetty mobiilisovellus kodinohjaukseen, terminaaliohjelma tai verkkosivupohjainen ohjaus selaimen kautta. Työssä kehitetty järjestelmä käytti verkkosivuohjausta ja sen lisäksi bluetooth toimilaitteeseen oli mahdollista yhdistää suoraan älypuhelimien terminaalisovelluksella. Näin laitteita oli mahdollista ohjata joko selaimen kautta napista tai kirjoittamalla ohjausviesti määritetyssä muodossa terminaaliin. Terminaaliohjauksen toiminta oli melko kankeaa ja hidasta, varsinkin usealla toimilaitteella, joten sitä en voi suositella valmiin järjestelmän ohjaukseen. Paikalliseen ohjaukseen erillinen sovellus automaattisella yhteyden muodostuksella olisi hyvin toimiva ratkaisu. Web ohjauksen etuna on tuki laajalle laitevalikoimalle yhdellä toteutuksella, toisin kuin mobiilisovellusta kehittäessä joutuu huomioimaan eri käyttöjärjestelmät.

4.7 Vaihtoehtoiset toteutustavat kohdalle 3.2

Kohdan 3.2 langatonta viestinvälitystä vastaava toiminnallisuus toteutettiin tapaustutkimuksen valmistumisen jälkeen käyttäen Arduino Uno kehitysalustaa ja HC-06 moduulia. Älypuhelimella lähetetty viesti muutti LED-valon tilaa päälle tai pois. Arduinon ympäristössä viestin lukeminen ja lähettäminen on varsin yksinkertaista valmiiden kirjastojen avulla. Nopeampi kehitys valmiilla kirjastoilla ja toimintojen ymmärrettävyys erottamalla ohjelmoija matalan tason koodista tekevät Arduinolle kehittämisestä mielekkäämpää varsinkin, jos ohjelmointitaidot ja tiedot mikroprosessorin toiminnoista ja rakenteesta ovat harrastajan tasolla.

4.8 Solmuverkko ilman valmista protokollaa

Edullisempaan solmuverkkototeutukseen olisi mahdollista päästä toteuttamalla viestinvälityksen toiminnallisuus ohjelmoimalla itse mikrokontrolleri, joka ohjaa yhteysmoduulia, kuten esimerkiksi muutaman euron Bluetooth LE. Edullisimmat Arduino ympäristöä tukevat mikrokontrollerit voi saada alle kahden euron, jolloin yhden osan hinta olisi vain puolet edullisimmista solmuverkkoa tukevista moduuleista. Tällainen toteutus vaatii kuitenkin huomattavasti enemmän työtä ja ohjelmointiosaamista, kuin valmiit ratkaisut.

5 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoite oli selvittää vuonna 2016 saatavilla olevien AKOJ:n toteutukseen sopivat arkkitehtuurit, laitteet ja yhteysmenetelmät. Työn rakenne on koostunut AKOJ:n sopivien arkkitehtuurien, laitteiden ja yhteysmuotojen kirjallisuusselvityksestä ja AKOJ:n esimerkkijärjestelmän tapaustutkimuksesta.

Kirjallisuustutkimuksessa selvisi että keskusyksiköllinen AKOJ mahdollistaa langalliset ja langattomat yhteydet toimilaitteisiin. Keskusyksiköttömiä järjestelmiä ei tutkittu syvällisesti tässä työssä, mutta nämäkin voivat sopia varauksin AKOJ:ään. Laitteiston puolesta sopivin keskusyksiköksi on Raspberry Pi 3 sen AKOJ:n sopivien yhteysmahdollisuuksien eli sisäänrakennetun Wi-Fi:n ja Bluetoothin, ja suuren käyttäjätuen vuoksi. Jos päätelaitteen yhteydeksi valitaan Wi-Fi, on toimilaitteet kaikista edullisinta toteuttaa ESP8266 piirin avulla.

Kirjallisuustutkimuksen perusteella keskusyksikön ja toimilaitteiden väliseen langalliseen yhteyteen sopi Ethernet-lähiverkko. Ethernet on kodeissa yleinen ja sen käyttäminen suuremmallakin etäisyydellä on edullista ja toimintavarmaa. Langattomat yhteydet ovat

yksinkertaisempi toteutus valmiiseen taloon. AKOJ:n langattomaksi verkkoyhteydeksi sopii WLAN tai BLE. Langaton lähiverkko on yleinen ja tarjoaa suuren nopeuden ja kantaman. Se kuluttaa kuitenkin muita vaihtoehtoja enemmän energiaa. Bluetooth Low Energy -protokolla tarjoaa matalimman virrankulutuksen tutkituista yhteysmenetelmistä. Jos järjestelmä toimii pienessä omakotitalossa ja ei tarvitse suurta määrää toimilaitteita, on BLE sopivin ratkaisu järjestelmän toteuttamiseen. On kuitenkin huomioitava, että työssä ei varmennettu valmistajien lupaamien yhteysetäisyyksien täyttymistä. Solmuverkkojen avulla voidaan saavuttaa pidempi kantama kuin BLEllä tai WiFillä, sillä jokainen lisätty laite kasvattaa yhteysverkon kantamaa. Solmuverkon toteutus nostaa järjestelmän hintaa huomattavasti. Jokainen toimilaite järjestelmässä tarvitsee valittua solmuverkkoprotokollaa tukevan laitteen, joiden hinta on moninkertainen BLE- ja WiFi moduuleihin.

Tapaustutkimuksessa käytettiin Raspberry Pi 2:ta ajamaan verkkopalvelinta lähiverkossa, ja HC-05 Bluetooth 2.0 moduulia ohjaamaan toimilaitteita. Järjestelmää pystyi ohjaamaan mm. lähiverkkoon kytkeytyneestä älypuhelimesta. AKOJ:n toteuttaminen keskusyksikön avulla vahvistettiin käytännössä toimivaksi ratkaisuksi. Käyttöliittymä toimi sekä älypuhelimesta että eri tietokoneista. Toimilaitteyhteyksien tuloksena selvisi, että olisi sopivampaa käyttää esimerkiksi uudempaa Bluetooth Low Energy spesifikaatiota. Tällä olisi saavutettu suurempi kantama toimilaitteisiin, matalampi virrankulutus sekä usean toimilaitteen tukeminen. Kun rakennetaan monenlaista toimilaitetta ohjaavaa järjestelmää, avoin openHAB-kodinohjausohjelma säästäisi aikaa. OpenHAB:in avulla järjestelmän toimilaitteiden lisääminen on helpompaa kuin tapaustutkimuksen järjestelmässä.

Keskeisiä ratkaisuja kodinohjausjärjestelmään liittyvistä arkkitehtuureista, laitteista ja yhteysteknologioista jäi varmasti käymättä läpi, joten työn tavoite ei niiltä osin täyttynyt. Työssä on kuitenkin tutkittu ainakin suurta osaa AKOJ:ien mahdollisista arkkitehtuureista, laitteista ja yhteysmenetelmistä.

Tässä tutkimuksessa jäi vähälle huomiolle myös keskusyksiköttömän järjestelmän hyödyntäminen kodinohjauksessa. Osa tiedosta kirjallisuustutkimuksessa ja tapaustutkimuksen toteutuksessa on kerätty verkkolähteistä ja verkon keskustelualueilta. Tämän tyyppiset lähteet eivät ole yhtä luotettavia kuin tieteelliset julkaisut, mutta kun kyseessä on vahvasti harrastajien edistämä aihealue, katsottiin käytettyjen lähteiden tuovan lisäarvoa tutkimukseen. Työn aikataulutus on ollut puutteellinen, ja tehty tutkimus on osin jäänyt nopeasti kehittyvän alan kehityksen jalkoihin. Tutkimusongelma on ollut erittäin laaja, ja tämä on ollut jatkuva ongelma tutkimuksen aikana. Työn rajaaminen tiukasti yhteen kokonaisuuteen, esimerkiksi langattomat verkkoyhteydet

kodinohjauksen kannalta, olisi ollut oikea ratkaisu. Tämänlaiset suppeampaan aihealueeseen kohdenneet vertailututkimukset ovat sopivia aiheita jatkotutkimuksille avoimista kodinohjausjärjestelmistä.

6 LÄHDELUETTELO

- [1]"Gartner Says 6.4 Billion Connected", Gartner.com, 2015. [www-dokumentti]. Tarjolla: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>. [Luettu: 30- Touko- 2017].
- [2]K. Gill, S. H. Yang, F. Yao and X. Lu, "A zigbee-based home automation system," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 55, no. 2, pp. 422-430, 2009.
- [3]"Ensto eOhjain - Asennusohje", Ensto, 2017 [www-dokumentti], saatavilla: https://www.ensto.com/files/documents/ii/heat/eOhjain_RAK87_UM2.pdf [Haettu: 28- Tammi- 2018]
- [4]C. Withanage, R. Ashok, C. Yuen and K. Otto, "A comparison of the popular home automation technologies," 2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), Kuala Lumpur, 2014, pp. 600-605.
- [5]"Definition (English)", Open Source Hardware Association, 2018. [www-dokumentti], saatavilla: <https://www.oshwa.org/definition/>. [Haettu: 28- Tammi- 2018].
- [6]"Patent US8861923 - Method, system and apparatus for controlling multimedia playing through via bluetooth", Google Patents, 2014. [www-dokumentti]. saatavilla: <https://www.google.com/patents/US8861923>. [Haettu: 19- Loka- 2017].
- [7]"Danfoss Link keskusyksikkö", Danfoss.fi, 2018. [www-dokumentti], saatavilla: <http://products.danfoss.fi/productrange/list/heatingsolutions/danfoss-link/central-controller/#/>. [Haettu: 28- Tammi- 2018].
- [8] "openHAB 2 - Empowering the Smart Home", Docs.openhab.org, 2017. [www-dokumentti], saatavilla: <http://docs.openhab.org/introduction.html>. [Haettu: 01- Touko- 2017].
- [9]R. Peters, Domoticz Open Source Home Automation System Manual. www.domoticz.com, 2015, s. 10 [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.domoticz.com/DomoticzManual.pdf> [Haettu: 01- Touko- 2017].
- [10]Controlling the unit from a web browser. Yamaha Corporation, 2017.[www-dokumentti], saatavilla: https://europe.yamaha.com/files/download/other_assets/1/326171/RX-V773_V673_wc_En.pdf. [Haettu: 19- Loka- 2017].
- [11] M. Jung and W. Kastner, "Efficient group communication based on Web services for reliable control in wireless automation," IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vienna, 2013, pp. 5716-5722.
- [12] S. Nasrin and P. J. Radcliffe, "Novel protocol enables DIY home automation," 2014 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC), Southbank, VIC, 2014, pp. 212-216.
- [13]"ARM versus X86 - Embedded PC Considerations", Hectronic.se, 2017. [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.hectronic.se/embedded/arm-versus-x86/arm-versus-x86.php>. [Haettu: 19- Loka- 2017].
- [14]"Raspberry Pi Hardware - Raspberry Pi Documentation", Raspberrypi.org, 2017. [www-dokumentti], saatavilla: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/>. [Haettu: 19- Loka- 2017].
- [15]"Simple and Intuitive Web Interface for Your Raspberry Pi", Instructables.com, 2017. [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.instructables.com/id/Simple-and-intuitive-web-interface-for-your-Raspbe/>. [Haettu: 06- Touko- 2017].

- [16]"myDevicesIoT/cayenne-docs", GitHub, 2018. [www-dokumentti], saatavilla: <https://github.com/myDevicesIoT/cayenne-docs/blob/master/docs/LORA.md>. [Haettu: 20- Huhti-2018].
- [17] "APPLICATION NOTE 3884 - How Far and How Fast Can You Go with RS-485?", Maxim Integrated, 2006.
- [18]KNX Basics. KNX, 2018. [www-dokumentti], saatavilla: http://www.knx.org/media/docs/Flyers/KNX-Basics/KNX-Basics_en.pdf. [Haettu: 20- Huhti-2018].
- [19]"ANSI/TIA/EIA-568-B", www.belden.com, 2016. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20161220081107/https://www.belden.com/docs/upload/2050.pdf>. [Accessed: 20- Huhti- 2018].
- [20]CAN Specification, 2nd ed. Stuttgart: Robert Bosch GmbH., 1991, s. A-31.
- [21]IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements," . IEEE Std 802.3af-2003, 2003.
- [22]"Where To Find It | Bluetooth Technology Website", Bluetooth.com, 2017. [www-dokumentti], saatavilla: <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/where-to-find-it>. [Haettu: 19- Loka-2017].
- [23]Specification of the Bluetooth System, v5.0. Bluetooth SIG, 2016, pp. 167-171.
- [24]"Bluetooth Core Specification", Bluetooth Technology Website, 2017. [www-dokumentti], saatavilla: <https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification>. [Haettu: 06-Touko- 2017].
- [25]S. Kamath & J. Lindh, "Measuring Bluetooth® Low Energy Power Consumption", Texas Instruments, 2012. [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.ti.com/lit/an/swra347a/swra347a.pdf>
- [26]"Bluetooth Technology To Gain Longer Range Faster Speed Mesh Networking In 2016", Bluetooth.com, 2015. [www-dokumentti], saatavilla: <https://www.bluetooth.com/news/pressreleases/2015/11/11/bluetooth-technology-to-gain-longer-range-faster-speed-mesh-networking-in-2016>. [Haettu: 06- Touko- 2017].
- [27]"Comparison of Power Consumption of WiFi Inbuilt Internet of Things Device with Bluetooth Low Energy", International Journal of Computer and Information Engineering, vol. 10, no. 10, 2016.
- [28]"Wireless Mesh Networking: ZigBee® vs. DigiMesh™, Whitepaper" Digi International, Inc., 2015, saatavilla: https://www.digi.com/pdf/wp_zigbeevsdigimesh.pdf [Haettu: 06.05.2017].
- [29]"Digi XBee® ZigBee", Digi International Inc. 2017. [Haettu 06-Touko-2017], saatavilla <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/rf-modules/xbee-zigbee#specifications>
- [30]D. Dobrilovic, B. Odadzic, Z. Stojanov and V. Sinik, "Testing Zigbee RF module applicability for usage in temperature monitoring systems," 2014 22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), Belgrade, 2014.
- [31]M. G. Rodriguez, L. E. Ortiz Uriarte, Yi Jia, K. Yoshii, R. Ross and P. H. Beckman, "Wireless sensor network for data-center environmental monitoring," 2011 Fifth International Conference on Sensing Technology.
- [32]"ESP8266EX Datasheet Version 4.3", Espressif Systems IOT Team, 2015. Haettu 06.05.2017, saatavilla: https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266__Datasheet__EN_v4.3.pdf

- [33]CC256x Dual-Mode Bluetooth® Controller datasheet (Rev. E). Texas Instruments, 2016.
- [34]CC2540 2.4-GHz Bluetooth® low energy System-on-Chip datasheet (Rev. F). Texas Instruments, 2013.
- [35]Digi XBee and Digi XBee-PRO ZigBee datasheet. Digi International Inc., 2018.
- [36]Digi XBee S2C DigiMesh 2.4 datasheet. Digi International Inc., 2017.
- [37]"Eben Upton talks Raspberry Pi 3 - The MagPi Magazine", The MagPi Magazine, 2017. [www-dokumentti], saatavilla: <https://www.raspberrypi.org/magpi/pi-3-interview/>. [Haettu: 19-Loka- 2017].

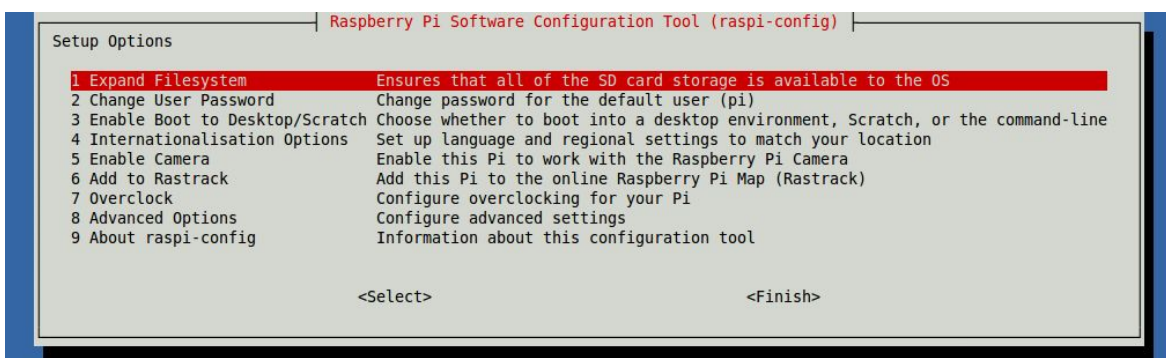
7 LIITTEET

7.1 LIITE 1: Raspberry Pi:n konfigurointi

Selostuksessa oletetaan käyttäjän osaavan linuxin komentorivin perusteet sekä pystyvän etsimään tarvittaessa lisätietoa eri osioista.

Ensimmäiseksi asennetaan käyttöjärjestelmä Pi:lle. Tämä tapahtuu purkamalla käyttöjärjestelmän tiedostot microSD kortille, joka asennetaan Pi:n lukijaan. Tiedostot sisältäviä SD-kortteja saa ostettua samasta paikasta kuin Pi:tä. Ensimmäistä käynnistystä varten tarvitsee laittaa kiinni näyttö ja näppäimistö. Pi käynnistyy kiinnittäessä microUSB liittimen. Näytöllä saatetaan kysyä, mikä käyttöjärjestelmä halutaan asentaa. Valitaan Raspbian ja painetaan Install.

Kun asennus on valmis, näytölle ilmestyy Pi:n konfigurointityökalu raspi-config.



Kuva 13. Raspiconfig näkymä, kuva osoitteesta

<https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/raspi-config.md>

Täältä ajetaan:

- 1: Expand Filesystem, tämä varmistaa koko SD-kortin tilan olevan käytössä.
- 4: Internationalisation Options
 - Täältä asetetaan näppäimistölayout, sijainti ja aikavyöhyke oikeaksi

- Finish
- Jos Pi ei käynnisty tämän jälkeen itsestään uudestaan, uudelleenkäynnistetään se komennolla `sudo reboot`

7.1.1 Wiringpi

Pi:n GPIO:iden kytkeminen ilman kirjaston apua vaatii ymmärrystä prosessorin rekistereiden ajamisesta, ja ei ole useimmiten tarpeellista. Pi:lle on saatavilla huomattava määrä GPIO-kirjastoja ja lisäajureita, ja yksi suosittu ratkaisu on WiringPi. Se on C-kielellä kirjoitettu, ja yhteensopiva käytettäväksi useimpien ohjelmointikielien kanssa. Se myös tarjoaa mahdollisuuden käyttää pinnejä käyttöjärjestelmän komentoriviltä *gpio*- ohjelman avulla. Juuri tätä ominaisuutta tullaan hyödyntämään järjestelmässä.

Kun Pi käynnistyy uudestaan, asennetaan WiringPi. Tämä kirjasto tekee Pi:n fyysisten GPIO:iden ohjaamisesta yksinkertaista.

- Asennetaan git ohjelman lataamista varten komennolla:
`sudo apt-get install git-core`
- Jos tämä aiheuttaa virheitä, varmista että Pi:n käyttöjärjestelmä on uusimman Raspbianin tasolla:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
```

- Nyt ladataan WiringPi: `git clone git://git.drogon.net/wiringPi`
- Siirrytään ladatun kansion sisälle: `cd wiringPi`
- Ajetaan asennuskripti: `./build`
- Tämän jälkeen voi varmistaa asennuksen onnistuneen komennoilla:
`gpio -v`

```
gpio readall
```

Näiden tuloksena pitäisi näkyä ensin ohjelman versio, ja lista pinneistä sekä niiden tiloista.

7.1.2 Apache-palvelin

Seuraava vaihe on asentaa verkkopalvelin. Tähän käytetään yhtä suosituimmista palvelinohjelmistoista, Apache:a yhdessä PHP:n kanssa. Apache tarjoaa sivuston käyttäjälle, kun taas PHP osaa suorittaa ohjelmia Pi:n sisällä ladattavan verkkosivun perusteella. PHP:tä käytetään järjestelmässä mm. tulkitsemaan käyttäjän pyynnöt, ja tämän jälkeen vaihtamaan tarvittaessa GPIO:n tilaa. Asennus tehdään seuraavasti:

- Päivitetään ohjelmien latauskirjasto: `sudo apt-get update`

- Asennetaan ohjelmat: `sudo apt-get install apache2 php5 libapache2-mod-php5`
- Asennuksen toimivuutta voi testata yhdistämällä Pi:n IP-osoitteeseen lähiverkossa kiinni olevalla laitteella. Jos IP ei ole tiedossa, aja komento `ip a`, jolloin eth0- laitteen inet-kohdan jälkeen lukee laitteen ip-osoite lähiverkossa. Ladatessa tämä verkkosivu pitäisi näkyä teksti "It works!".
- Tämän onnistuessa tiedetään että Apache- eli HTTP-palvelin toimii. PHP tarkistetaan seuraavasti:
 - Navigoi web-sisällön kansioon: `cd /var/www`
 - Voit listata sisällön - eli testisivun tiedoston: `ls`
 - Poista alkuperäinen testisivu: `sudo rm index.html`
 - Tee uusi: `sudo nano index.php`
 - Tämä avaa tekstinmuokkausohjelman ikkunan, täytä tänne

```
<?php
    phpinfo();
?>
```
 - Tallenna: paina Ctrl + O, hyväksy tiedostonimi: Enter, poistu ohjelmasta: Ctrl + X
 - Nyt ladattaessa testisivu uudestaan, pitäisi sivuston listata PHP:n ominaisuuksia.
- Lopuksi annetaan pi-käyttäjälle lupa muokata palvelimen tarjoamia tiedostoja. Tämä onnistuu komennolla: `sudo chown -R pi /var/www`.
- Nyt `/var/www/` polkuun voi lisätä kohdan lähteen 15 tarjoamat tiedostot.