



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

**RASPBERRY PI -POHJAISEN IOT-
ANTURIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU**
Design of a Raspberry Pi -based IoT sensor system
Janne Jäppinen, Katriina Korpinen, Mikko Nykyri

TIIVISTELMÄ

Janne Jäppinen, Katriina Korpinen, Mikko Nykyri
0401314, 0401709, 0401411
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka
TkT Mikko Kuisma

Raspberry Pi -pohjaisen IoT-anturijärjestelmän suunnittelu

2017

Kandidaatintyö.
29 s.

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin kirjallisen tutkimuksen sekä kokeellisen osuuden avulla esineiden Internetin (IoT) arkkitehtuuria: antureita, verkkoja, laitteita, palvelimia, ohjelmistoja ja käyttöliittymiä. Tutkimuksen tavoitteena oli suunnitella IoT-järjestelmä Café IoT, jolla voidaan demonstroida ja tutkia IoT-käyttöä digitaalisessa toimitusketjussa.

Tämän tutkimuksen tuloksena saatiin suunniteltua IoT-testialusta, joka koostuu Raspberry Pi'eista, antureista, palvelimesta ja niihin liittyvistä ohjelmistoista. IoT-testialusta suunniteltiin anturoimaan ympäristöään sekä monitoroimaan kahvinkeitTIMEN toimintoja. Keittimen sähkönkulutuksesta päätellään, onko kahvi keittymässä, ja kahvivaraston massasta varastoidun kahvin määrä. Ympäristöä seurataan liiketunnistimella sekä ilmanlaatumittarilla. Testialustalle suunniteltiin web-pohjainen käyttöliittymä, josta voi seurata reaaliajassa kahvihuoneesta kerättyä dataa numeerisessa ja graafisessa muodossa.

Tutkimuksessa havaittiin, että Raspberry Pi soveltuu IoT-laitteeksi sen kattavien liitäntöjen ja erilaisten dataväylien takia. Kuitenkin, analogisten tulojen puutteen takia Raspberry Pi ei ole kaikkiiin sovelluksiin ideaalinen valinta, sillä analogisten antureiden liittäminen vaatii AD-muunnoksen. Raspberry Pihin on laaja tarjonta ohjelmistoja IoT-käyttöä varten, kuten esimerkiksi graafinen ohjelmointityökalu Node-RED. Tutkimuksessa saatiin aikaan toimiva perusrunko jonka pohjalta laitteiston toteutus ja jatkokehitys voi alkaa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Janne Jäppinen, Katriina Korpinen, Mikko Nykyri
Design of a Raspberry Pi -based IoT Sensor System

2017

Bachelor's Thesis.
29 p.

Examiner: associate professor Mikko Kuisma

In this Bachelor's thesis, the architecture of IoT systems is researched via literary research and a case study. Sensors, networks, devices, servers, software and user interfaces are researched. The goal of the study was to demonstrate and research digital supply chains in an IoT environment.

As a result of this study, an IoT testbed was designed. The testbed consists of Raspberry Pis, sensors, a server and associated software. IoT testbed was designed to sense its environment and to monitor the functionalities of a coffee maker. Whether coffee is being brewed or not is determined by the electrical power consumption of the coffee maker. The amount of stored coffee grounds is determined by storage mass. The environment is monitored with a motion sensor and air is monitored with an air quality meter. A web-based user interface was designed, on which data gathered from the coffee room can be viewed in numerical and graphical form in real time.

During the research, it was noticed that Raspberry Pi is capable for IoT use because of its many inputs and outputs in different varieties. However, Raspberry Pi lacks analog inputs and therefore it is not an ideal choice as an IoT device. In order to use analog sensors, an analog-to-digital converter is needed. There are lots of available software for IoT use for Raspberry Pis, for example a graphical programming tool Node-RED. A working basis of an IoT system was developed during the research, upon which the realization of the system and further development can begin.

SISÄLLYSLUETTELO

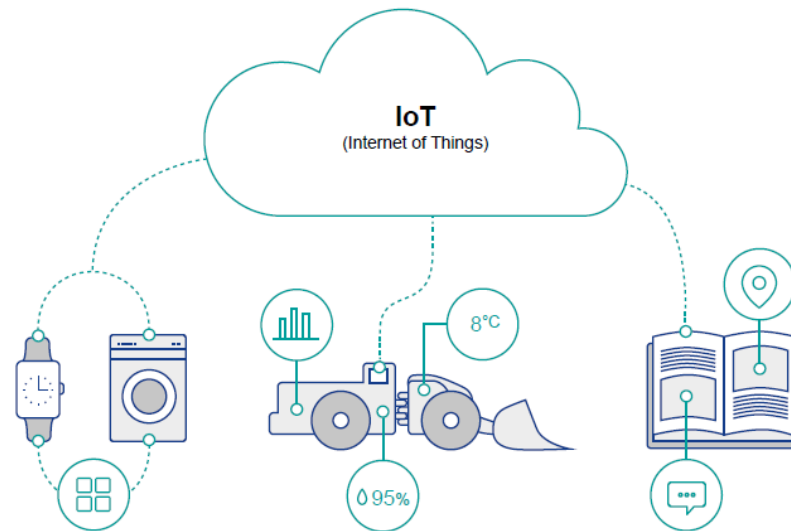
Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	6
1.1	Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset.....	7
2.	Esineiden Internet.....	8
2.1	Autonominen esineiden Internet.....	9
2.2	IoT-laitteet	10
2.3	IoT-järjestelmien käyttöliittymät.....	10
2.3.1	Käyttöliittymätyypit	10
2.3.2	IoT- ja pilvipalvelut.....	11
2.4	Tietoturva	11
3.	Raspberry Pi -pohjaisen testialustan suunnittelu.....	13
3.1	Anturit ja niiden kytkeminen Raspberry Pihin.....	14
3.2	Tehomittaus	16
3.3	Datan käsittely Raspberry Pissa	18
3.3.1	Node-RED	19
3.3.2	Anturidatan lukemisen ohjelmatoteutukset	20
3.4	Anturiverkon arkkitehtuuri	22
4.	Tulosten analyysi.....	24
4.1	Jatkokehityskohteita demolaitteistolle.....	24
5.	Yhteenveto.....	26
	Lähteet	28
	Liitteet.....	30

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

LUT	Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lappeenranta University of Technology
IoT	Internet of Things, Esineiden Internet
SSH	Secure Shell
IP	Internet Protocol
RPi	Raspberry Pi
PIR	passive infrared
I ² C	inter-integrated circuit
SPI	serial peripheral interface
GPIO	general-purpose input/output, yleiskäyttöinen tulo/lähtö
USB	universal serial bus
CSI	camera serial interface
API	application programming interface
LED	light emitting diode
HDMI	high definition media interface
AD	analog-digital
<i>R</i>	resistanssi
<i>U, V</i>	jännite

1. JOHDANTO



Kuva 1.1 IoT yhdistää älykkäät esineet, teollisuuden laitteet ja tavarat yhteen verkkoon - Internetiin. (Quva, 2016)

Internetin ja sen tarjoamien sovellusten jatkuva kehitys aloitti 2000-luvulla Internetin uuden aluevaltauksen - esineiden Internetin. Esineiden Internet eli “Internet of Things” (IoT) on älykkäiden esineiden, teollisuuden laitteiden ja tavaroiden verkosto (kuva 1.1). (Quva, 2016) Elektroniikan edullinen hinta mahdollistaa suuren määrän laitteita, joista saadaan valtava määrä tietoa hyödynnettäväksi. Dataa voidaan analysoida ja sen perusteella voidaan suorittaa toimintoja, esimerkiksi tehdä tilauksia, säätää prosessia tai suorittaa kunnonvalvontaa (Sezer et al., 2016). Kerättyä dataa voidaan hyödyntää esimerkiksi digitaalisten toimitusketjujen hallinnassa ja strategisten kuluttajaennusteiden luomisessa.

Esineiden Internet tuo uusia sovelluksia tiedonkeruuseen ja tutkimukseen sekä automaatioon ja hallintaan (Chui et al., 2010). Ihmisten käyttäytymisestä ja ympäristöstä voidaan esineiden Internetin ansiosta kerätä dataa kattavammin ja helpommin. Kerättyä dataa voidaan hyödyntää tutkimuksessa sekä esimerkiksi potilasseurannassa, markkinoinnissa tai rakentamisessa. (Al-Fuqaha et al., 2015, Lin et al., 2017) Reaaliaikaisen datan hyödyntäminen automaatioissa ja prosessien hallinnassa mahdollistaa kustannustehokkaammat prosessit esimerkiksi teollisuudessa. Esineiden Internetin avulla voidaan myös kehittää monitahoisia autonomisia järjestelmiä, jotka osaavat tehdä ihmisen tavoin päätöksiä keräämänsä datan perusteella.

Esineiden Internet tuo myös uusia mahdollisuuksia digitaaliseen toimitusketjujen (digital supply chain) hallintaan esimerkiksi avoimen datan ja yritysten välisen tiedonjaon avulla. Kesällä 2016 Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa alettiin tutkia, miten IoT:tä voidaan hyödyntää digitaalisessa toimitusketjussa ja esimerkiksi strategisten kuluttajaennusteiden luomisessa. Tutkimukselle perustettiin projekti (Digital Supply Chain – Systemic Value Transforming within Industry Internet), jonka osana tämä kandidaatintyö toteutettiin. Tutkimuksen tavoitteena on käyttää, testata ja kehittää IoT-sovelluksia ja järjestelmiä yritysmaailmaan. Tutkimuksessa suunniteltiin projektille testialusta – Raspberry Pi - pohjainen Café IoT -järjestelmä.

1.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

LUT:lla oli tarve digitaalisten toimitusketjujen tutkimiseen sopivalle IoT-testialustalle. Tämän kandidaatintyön tavoitteena on suunnitella IoT-järjestelmä, jolla voidaan demonstroida ja tutkia IoT-käyttöä digitaalisessa toimitusketjussa. Lisäksi työn tavoite on selvittää kirjallisuuden avulla, mitä keskeisiä osia ja toimintoja IoT-järjestelmässä on.

Suunniteltava IoT-järjestelmä tulee sijoittumaan LUT:n seitsemännessä rakennusvaiheessa olevaan kahviotilaan, jonka toimintoja on tarkoitus monitoroida ja optimoida kehitettävän järjestelmän avulla. Tutkimusprojektin tuomat vaatimukset suunnittelun lähtökohdaksi kesällä 2016 olivat:

- kahvin valmistumisen seuranta, ilmoitus tuoreesta kahvista esimerkiksi sähköpostin ja sosiaalisen median välityksellä
- kahvivaraston seuranta ja valmius kahvivaraston automaattiseen täydentämiseen
- kahvilaympäristön seuranta esimerkiksi liikeanturin, ilmanlaadun, kuvan tai äänen avulla

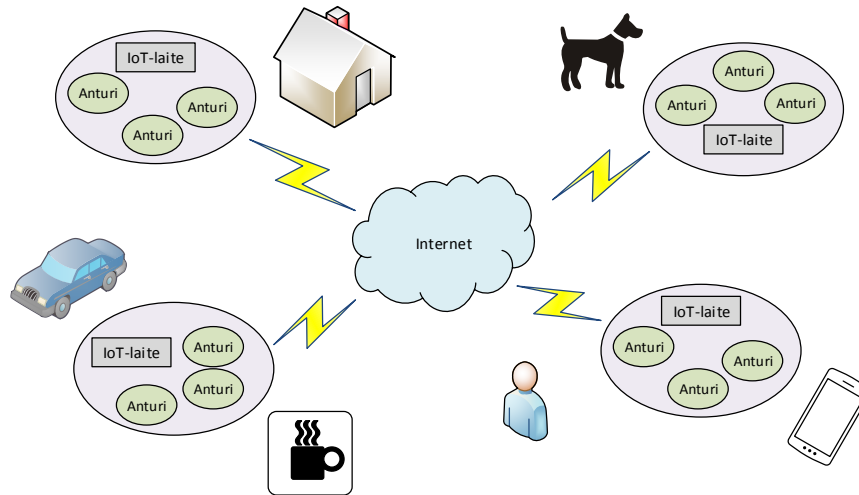
Kirjallisuustutkimuksen lisäksi työhön kuuluu kokeellinen osuus. Kokeellisessa osassa testataan erilaisten antureiden, sähköisten liityntöjen, ohjelmistoalustojen sekä verkko-ohjelmistojen ja -palveluiden toimintaa IoT-ympäristössä. Suunnitellun järjestelmän laitteistoalustaksi valittiin Raspberry Pi 3, sillä se on tätä kirjoitettaessa laajalti käytetty ja edullinen tietokone, joka soveltuu IoT-käyttöön. Työn käsittely on rajattu Raspberry Pi pohjaiseen IoT-järjestelmään, mutta suurin osa case-analyysin tuloksista voidaan yleistää ja käyttää myös muissa laiteympäristöissä.

Tutkimuskysymyksinä ovat

- Mitä keskeisiä osia ja toimintoja IoT-järjestelmässä on?
- Millainen arkkitehtuuri Café IoT-testialustalla on?
- Miten Café IoT-testialusta teknisesti toteutetaan?
- Mitä tulee ottaa huomioon liittäessä antureita Raspberry Pihin?

2. ESINEIDEN INTERNET

Esineiden Internetillä (IoT) tarkoitetaan systeemiä, jossa fyysisen ja virtuaalisen maailman esineet sekä niihin liittyvät anturit on yhdistetty Internetiin langallisesti tai langattomasti. Anturit ovat yhteydessä IoT-laitteeseen, joka on yhteydessä Internetiin paikallisverkon tai laajaverkon avulla (kuva 2.1) (Lopez Research LCC, 2013). IoT:iin yhdistyy sekä elollisia että elottomia asioita, joista kerätään dataa, jota voidaan hyödyntää erilaisissa sovelluksissa.



Kuva 2.1 Esineiden Internetissä antureita yhdistetään IoT-laitteisiin ja IoT-laitteet Internetiin. Antureita voidaan kiinnittää niin elottomiin kuin elollisiin asioihin, kuten rakennuksiin, ajoneuvoihin, ympäristöön, eläimiin, ihmisiin tai laitteisiin. IoT-laitte voi olla erillinen pieni tietokone tai vaikka älypuhelin.

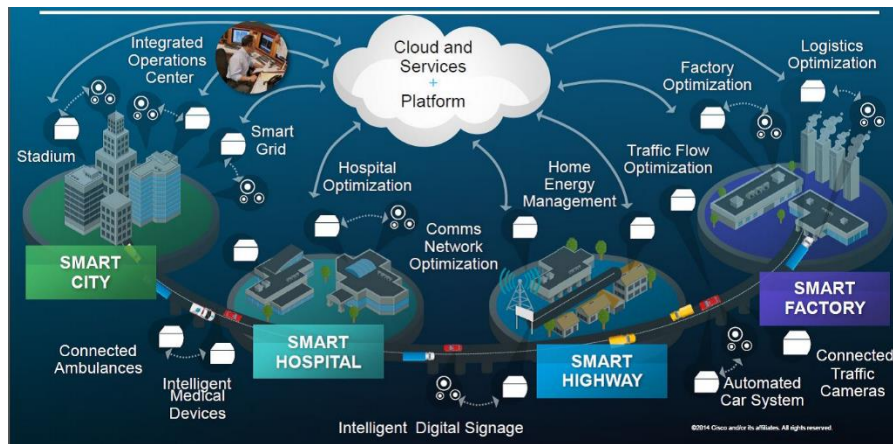
IoT-järjestelmille on ominaista, että ne kykenevät käsittelemään ja siirtämään suurta datamäärää. Esineiden aistiessa ja analysoidessa ympäristöään niistä tulee työkaluja, joiden avulla voidaan ymmärtää ja reagoida monimutkaisiin asioihin nopeasti. IoT mahdollistaa kehityksen ja IoT-palveluiden syntymisen kahdella selkeällä pääalueella: tiedonkeruussa ja tutkimuksessa sekä automaatiassa ja hallinnassa. (Chui et al., 2010)

Keräämällä tietoa esineiden liikkeistä, voidaan muun muassa tarkastella tuotteiden kulkua toimitusketjun aikana ja tiedon avulla parantaa varastojenhallintaa ja vähentää logistiikkakuluja. Myös esimerkiksi vakuutusyhtiöt voivat ajoneuvoseurannan avulla laskuttaa autovakuutusta kuskin ajotavan ja ajoreitin aiheuttaman todellisen riskin mukaan, eikä perinteiseen tapaan kuskin iän ja/tai asuinpaikan mukaan (Chui et al., 2010). Keräämällä ja analysoimalla dataa infrastruktuureista (teistä ja rakennuksista) voidaan esimerkiksi logistiikan alalla reagoida ruuhkiin ja tulviin ennakoiden sekä tehdä uusia reittisuunnitelmia. Myös esimerkiksi vartijat ja poliisit voivat hyödyntää rakennuksiin asennettujen liike- ja ääniantureiden dataa tunkeutujien paikantamiseen (Chui et al., 2010).

Ympäristöstä kerättyä dataa, kuten maaperän kosteutta, säätilaa ja merivirtoja, voitaisiin käyttää esimerkiksi tutkimukseen, jonka avulla voidaan suunnitella maa- ja metsätaloutta tehokkaammaksi. Tiedonkeruun ja tutkimuksen alueella IoT luo mahdollisuuksia myös geologiseen tutkimukseen (Ibrahim et al., 2015). Älykkäitä antureita, jotka kykenevät monimutkaiseen analyysiin, voidaan hyödyntää maankuoren anturointiin. Maan kuorta anturoimalla voitaisiin tehokkaasti paikantaa öljykentät ja ennakoida tulevat maanjäristykset ja niistä seuraavat mahdolliset tsunamit (Ibrahim et al., 2015). Toisaalta hyödyntämällä

älykkäitä antureita potilasseurannassa, lääkärit voisivat jatkuvasti ja etänä seurata potilaan tilaa sekä reagoida ennakoiden esimerkiksi sairaskohtauksiin. Myös potilaat itse voisivat seurata älykkään anturin dataa ja reagoida sen havaitsemiin terveydentiloihin. Tällaiset anturit toisivat suuria säästöjä sairaala- ja hoitokuluissa jo pelkästään sydäntautipotilaita seuraamalla, sillä muutoksiin potilaan voinnissa voitaisiin reagoida hyvissä ajoin, jopa ennen kuin potilas itse tuntee oireita (Al-Fuqaha et al. 2015).

IoT:n tuomat sovellukset automaation ja hallinnan puolella mahdollistavat suuria säästöjä erityisesti teollisuuden ja tuotannon prosesseissa. IoT:n avulla voidaan optimoida prosesseja automaattisen säädön avulla (Chui et al., 2010). Esimerkiksi kemianteollisuudessa prosessinaikainen jatkuva lämpötilan mittaaminen ja automaattinen säätö prosessivaiheen mukaisesti mahdollistaa kustannustehokkaamman tuotannon. IoT:n ansiosta myös yksittäiset ihmiset voivat optimoida energiankulutustaan kehittyneiden kotiautomaatiojärjestelmien avulla. Esimerkiksi ilmastointi ja lämmitys voidaan automaattisesti säätää pienemmälle asukkaiden poistuessa kodista ja halutessaan ilmastoinnin ja lämmityksen voi Internetin kautta laittaa valmiiksi suuremmalle teholle ennen kotiinpaluuta. IoT mahdollistaa myös monitahoiset, täysin autonomiset systeemit.



Kuva 2.2 IoT:n ansiosta voidaan kehittää älykkäitä järjestelmiä kaikenlaisiin kohteisiin kuten kaupunkeihin, sairaaloihin, infrastruktuureihin ja teollisuuteen. (Wim Elfrink, 2014)

IoT muokkaa pitkällä tähtäimellä peruskäsitystämme Internet-liikenteestä. Anturoitujen Internetiin liitettyjen kohteiden määrä on lisääntynyt, joten entistä useammalla asialla on digitaalinen identiteetti sekä yhteyskyky Internetiin, jolloin jokainen voi seurata esineitä ja olla niihin yhteydessä. IoT:tä hyödynnetään jo nyt useissa erilaisissa sovelluksissa (kuva 2.2) ja se leviää jatkuvasti (Lopez Research LCC, 2013). IoT mahdollistaa älykkäiden järjestelmien kehityksen kaikenlaisiin käyttökohteisiin.

2.1 Autonominen esineiden Internet

Yksinkertaisimmillaan IoT-laitteet ovat vain etäluettavia ja/tai etäohjattavia mittalaitteita. Autonomisella IoT-laitteella tarkoitetaan laitetta, joka osaa kerätä, käsitellä ja analysoida dataa sekä reagoida tilanteeseen sen vaatimalla tavalla välittömästi. Autonominen IoT-laite ei vain tee säätöä, vaan se voi myös esimerkiksi tilata tarvittavia palveluita tai vähissä olevia raaka-aineita valvomalleen kohteelle tai itselleen, ja se kykenee ylläpitämään toiminnallisuksiaan itsenäisesti ilman ihmistä. 2010-luvulla on kehitetty autonomisia laitteita muun muassa vaarallisten jätteiden käsittelyyn sekä miehittämättömien ilma-alusparvien ohjaamiseen (Chui et al., 2010).

Autonomiset järjestelmät voivat olla tietokoneiden ohjelmia tai fyysisiä laitteita, ja niillä voi olla yksi tai useampia itsenäisesti toimivia autonomisia toiminnallisuuksia. Autonominen järjestelmä voi olla esimerkiksi itseohjautuva, itsesäätävä, itsehallinnoiva, itsekorjautuva, itsepuolustautuva tai useita itsenäisiä toiminnallisuuksia sisältävä. (Fortes & Boon, 2011) Ihmisen ei tarvitse puuttua näihin toiminnallisiin kuin autonomista järjestelmää rakentaessa ja virittäessä käyttötarkoitukseensa sopivaksi. Esimerkiksi seoksen koostumusta ja lämpötilaa itsesäätävä autonominen järjestelmä osaa autonomisesti suorittaa toiminnallisuksiaan täysin ilman ihmistä kunhan ihminen ensin virittää järjestelmän toiminnallisuudet halutunlaisiksi.

Autonomiset järjestelmät voivat olla täysin itsenäisiä ja niillä voi olla jopa kyky oppia. Itseohjautuvuus mahdollistaa nopean reagoinnin muuttuvaan tilanteeseen (Demestichas et al., 2011). Itseohjautuva laite voi reagoida muutoksiin nopeammin kuin ihminen. Oppimiskyky taas lisää järjestelmän päätösten luotettavuutta. Itseoppiva järjestelmä voi toimia tekoälyn tavoin. Järjestelmän analysoidessa dataa ja tehdessä sen pohjalta päätöksiä, voidaan hyödyntää erilaisia muisti- ja oppimisominaisuuksia ja päästä yhä lähemmäs toimivaa ihmismäistä tekoälyä (Demestichas et al., 2011).

2.2 IoT-laitteet

Fyysiset IoT-järjestelmät koostuvat usein antureista, IoT-laitteesta ja pilvi/IoT-palvelusta. Anturit ovat mitä tahansa mittaussaitteita, jotka yhdistetään IoT-laitteeseen. Laitteena toimii pieni tietokone - mikroprosessori. Mooren lain mukaisesti mikroprosessorit pienenevät jatkuvasti ja niiden laskentateho ja muistin määrä kasvavat hinnan samalla pudotessa (Chui et al., 2010). Tämä on mahdollistanut IoT-ilmiön kehittymisen, kun laitteita on saatavilla paljon ja edullisesti.

IoT-laitteina käytetään erityisesti pieniä korttitietokoneita, koska pienen kokonsa ansiosta ne ovat helppoja sijoittaa käyttökohteisiinsa ja niiden energiankulutus on pieni. Korttitietokoneet ovat halventuessaan tulleet kelvolliseksi korvaajaksi mikrokontrollereille (Johnston et al., 2016). Laitteissa on hyvä olla monipuolisesti ja tarkoitukseensa riittävästi liitäntäväyliä muun muassa antureille. Korttitietokoneissa tulee olla myös riittävän tehokas prosessori ja riittävästi keskusmuistia. Etenkin harrastajakäytössä, helppo ohjelmitavuus on IoT-laitteelle sopiva ominaisuus. IoT-järjestelmiin soveltuvia laitteita ovat esimerkiksi ARM mbed, Intel Edison ja Raspberry Pi.

2.3 IoT-järjestelmien käyttöliittymät

Ihmisen ja tietokoneen väliseen vuorovaikutukseen tarvitaan käyttöliittymä. IoT-laitteiden ja -järjestelmien keräämä data on hyödytöntä, jos sitä ei voida käyttää. Datamäärien kasvaessa kerätyn datan käsittely tulee entistä hankalammaksi. Toistaiseksi, ennen autonomisen IoT-järjestelmien yleistymistä, ihminen on tehnyt suurimmat päätökset koneiden puolesta (Lawson, 2016).

2.3.1 Käyttöliittymätyypit

IoT-järjestelmien käyttöliittymätyypit voidaan jakaa autonomisiin, fyysisiin ja etäohjattuihin käyttöliittymiin. IoT-laitteet käyttävät ainakin yhtä niistä. (Wood, 2015)

Autonomiset laitteet ovat huomaamattomia ja sulautuvat ympäristöön niin hyvin, että niitä ei huomaa arkielämässä. Laite vaatii ihmisen huomiota vain harvoin, esimerkiksi jos jokin on vialla tai jos laitteen ominaisuuksia halutaan muokata. Autonomiset laitteet usein tarvitsevat eniten älyominaisuuksia, koska ne toimivat ilman ihmistä. (Wood, 2015)

Monissa laitteissa on fyysinen käyttöliittymä. Fyysisellä käyttöliittymällä tarkoitetaan IoT-laitteessa olevia ominaisuuksia, joilla ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus on mahdollista. Näitä ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi näppäimet, LED-statusvalot, äänipalaute tai pieni näyttö. Fyysisten ominaisuuksien hyötyjä ovat esimerkiksi kyky paikata tilannetta, jossa Internet-yhteys menetetään ja laitteen toiminnan säätäminen suoraan laitteesta käsin. (Wood, 2015)

Etäohjaus tarkoittaa sitä, että IoT-laitetta pystytään hallitsemaan ja sen keräämää voidaan lukea Internetin välityksellä käyttäen käyttöliittymäsovellusta. Sovellus voi olla esimerkiksi älypuhelimille suunniteltu, jossa nähdään laitteen keräämä data reaaliajassa. Laitteen ollessa Internet-yhteydessä esimerkiksi Wi-Fi:n avulla, voidaan laitetta käyttää mistä tahansa maapallolta eikä fyysisistä käyttöliittymää välttämättä tarvita ollenkaan. (Wood, 2015)

2.3.2 IoT- ja pilvipalvelut

Viime vuosina moni IT-alan suuryritys on alkanut panostamaan IoT-palveluiden tuottamiseen. IoT-palveluilla tarkoitetaan IoT-järjestelmille tarkoitettuja ylläpito- ja käyttöliittymäratkaisuja. Moni tarjotuista palveluista on Platform as a Service (PaaS) -palveluita, tarkoittaen, että koko palvelualusta on ulkoistettu sovelluskehittäjältä palveluntarjoajalle. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että sovelluskehittäjä pystyy rakentamaan sovelluksia tarpeisiinsa Internetin välityksellä. Sovelluksen toimintaa varten oleva tekniikka, kuten käyttöjärjestelmä, tietokannat, kehitystyökalut, tiedon säilytys ja webhostaus tarjotaan palveluntarjoajan puolesta. Näin ollen palveluun tarvitsee vain lähettää haluttua dataa, jolloin IoT-palvelu voidaan konfiguroida analysoimaan dataa halutulla tavalla. Muun muassa IBM, Intel, Microsoft, General Electric ja Amazon ovat julkaisseet omat IoT-palvelunsa, jotka tarjoavat pilvipalveluita asiakkaiden käyttöönsä. (Interoute Communications Ltd, 2013-2016)

Vaihtoehto valmiille IoT-palveluille on perustaa oma palvelin. Palvelimella tarvitaan ainakin www-sovellus ohjaamaan palvelimen toimintaa sekä mahdollisesti tietokanta, jonne IoT-laitteilta saapuva data tallennetaan. IoT-palveluntarjoajat tarjoavat valmiita ratkaisuja, mutta oman palvelimen perustamisella voidaan saavuttaa säästöjä, mutta ominaisuuksia on työläämpi toteuttaa.

2.4 Tietoturva

IoT-järjestelmät ovat houkutteleva kohde kyberrikollisille. Laitteiden määrän kasvaessa, tulee tietojärjestelmiin lisää murtautumisväyliä ja -mahdollisuuksia. (Dickson, 2015) Esimerkkinä turvattomuudesta on vuoden 2015 tapaus, jossa erään valmistajan vauvamonitorikameroihin onnistuttiin hakkeroitumaan sisään ja tunkeutuja pystyi seuraamaan monitorin kuvaamaa videota. (Goodin, 2015) Kotitietokoneiden kyberuhkat ovat usein riskejä yksityisyydelle, mutta IoT-laitteisiin kohdistuvat uhat voivat koitua myös turvallisuusriskeiksi. Esimerkiksi teollisuusprosessin tai ydinvoimalan anturointiprosessin mennessä vikaan, voi aiheutua vaaratilanteita (Wind River Systems, 2015).

Perinteisesti kyberuhkia vastaan on taisteltu palomuurien ja virustorjuntaohjelmistojen avulla. Sallitut ja kielletyt yhteystyypit on usein eroteltu muun muassa musta- ja valkolistausten avulla, ja dataliikennettä on salattu esimerkiksi WPA2-salauksella. Muita uusia keinoja tietoturvan varmentamiseen ovat laitteen ohjelmiston varmentaminen käynnistäessä sekä liitettyjen laitteen todentaminen. Datapakettien salaamisen lisäksi on tärkeää estää laitteen ohjelmistoon kajoaminen. Ohjelmiston oikeellisuuden varmentamisella voidaan välttyä siltä, että mahdollinen muutettu tai vaihdettu ohjelmisto ei käynnisty ja aiheuta tietoturvariskejä. Laitteessa mahdollisesti sisällä oleva data tulee pysyä salattuna myös, jos laitteen virransyöttö katkeaa äkillisesti. (Wind River Systems, 2015)

Autonomisten IoT-laitteiden kykyyn tehdä päätöksiä liittyy omat turvallisuusriskinsä. Esimerkiksi itsestään ohjautuva auto voi tehdä virheen ja ajaa kolarin tuottaen vakavia seurauksia. Autonomisille laitteille pätevät samat riskit kuin perinteisillekin IoT-laitteille: mikäli esimerkkitapauksen auto olisi täysin suojaamaton ja yhteydessä Internetiin, on se mahdollista kaapata haltuunsa ja aiheuttaa siten turvallisuusriskejä. Kuitenkin autonomisten järjestelmien mukana tulee omat riskinsä, jotka tulisi huomioida laitteita suunniteltaessa, jotta ihmisille syntyvä vaara voidaan minimoida.

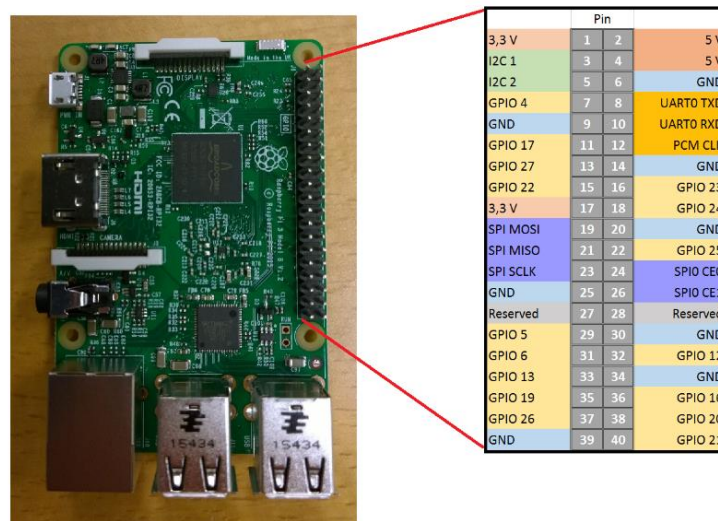
Hewlett-Packardin vuonna 2014 suorittaman IoT-tietoturvatutkimuksen mukaan jokaisesta IoT-laitteesta löytyi keskimäärin 25 haavoittuvaisuutta. Esimerkiksi 80 prosentissa laitteista salasana ei ollut tarpeeksi monimutkaisia. Tietoturva-aukot altistavat IoT-laitteet alttiiksi esimerkiksi palvelunestohyökkäyksille sekä botnet-käyttöön valjastamiselle. (Bertino & Islam, 2017)

Tutkimuksen alussa Raspberry Pi oli suojaamaton, sillä sen palomuuria ei oltu konfiguroitu kunnolla. Kun Raspberry Pi yhdistettiin julkiseen verkkoon, jossa on avoimet SSH-portit, Portugaliin viittavasta IP-osoitteesta tehtiin yli 4000 murtoyritystä esimerkkitoteutuksen Raspberry Pihin. Murtoyrityksistä yksi onnistui. Murren jälkeen Raspberry Pin käyttöjärjestelmä alustettiin uudestaan ja suojausta parannettiin palomuurin avulla. Tästä voidaan todeta, että kyberuhka on todellinen ja tietoturvasuhteisuus tulee todella ottaa huomioon IoT-laitteita suunniteltaessa.

3. RASPBERRY PI -POHJAISEN TESTIALUSTAN SUUNNITTELU

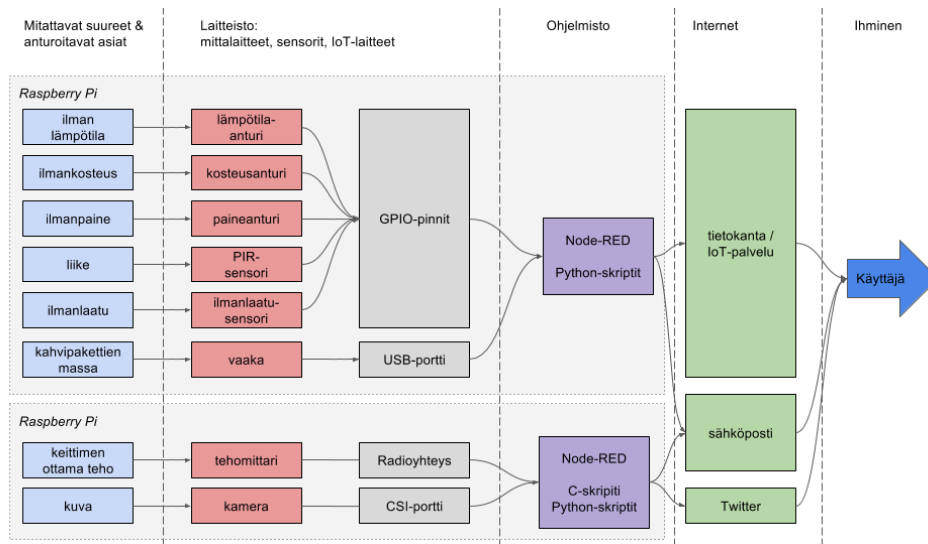
Tutkimuksessa suunniteltiin Raspberry Pi -pohjainen Café IoT -testialusta, jolla voidaan demonstroida ja tutkia digitaalisia toimitusketjuja IoT-ympäristössä. Raspberry Pi -toteutuksen avulla päästiin testaamaan käytännössä datan siirtoa anturilta laitteeseen ja edelleen Internetiin. Tavoitteena oli saada erilaisilta antureilta dataa Raspberry Pille ja siitä Internetiin reaaliaikaisesti. Data tallennettiin IoT-laitteelle, tietokantaan, sähköpostiin ja Twitteriin, joista halukkaat pääsisivät sitä seuraamaan.

Café IoT -testialusta suunniteltiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston 7. vaiheen kahvihuoneelle. Pää tavoitteina oli saada kahvinjuojille tieto, kun kahvi on laitettu keittymään ja kahvi on keittynyt sekä tieto, kun kahvipakettivarasto alkaa olla tyhjenemäisillään. Lisäksi järjestelmä suunniteltiin tilaamaan autonomisesti lisää kahvia. Café IoT -järjestelmällä pystyttäisiin täten digitaalisesti seuraamaan ja ohjaamaan kahvin tuotantoketjua. Anturiverkoston kattavamman havainnollistamisen vuoksi haluttiin saada Internetiin myös tieto muun muassa kahvihuoneen kosteudesta, lämpötilasta ja ilmanlaadusta sekä tieto siitä, onko kahvihuoneessa ihmisiä. Testialustaa varten luotiin Twitter-tili @cafeiot_lut ja websivusto www.iotcafe.fi, jonne suunniteltiin saatavan myös reaaliaikaisia kuvia kahvipisteeltä.



Kuva 3.1 Raspberry Pi 3 Model B -tietokone, jota käytetään Case Café IoT:n IoT-laitteena. Sen dataväylinä voidaan käyttää GPIO-liitännän väyliä, CSI-liitännää, Bluetoothia, WiFi:ä, USB:tä, HDMI:tä sekä DSI:tä. Kuvassa tarkennettuna GPIO-liitännän pinnit. (Raspberry Pinout)

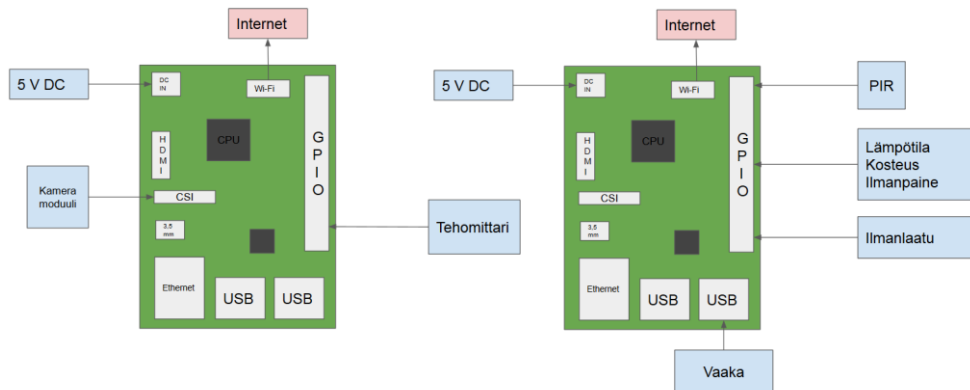
Testialustassa laitteistoksi valittiin kaksi Raspberry Pita sekä erilaiset anturit. Datan keräämiseen käytettiin digitaalista lämpötila-anturia, digitaalista kosteusanturia, digitaalista passive infrared (PIR) liiketunnistinta, analogista ilmanlaatuanturia komparaattorin kanssa, USB-vaakaa, kameraa sekä Z-Wave -pistorasiatohomittaria. Data kerättiin mittareilta ja antureilta kahdelle Raspberry Pille erilaisilla Python- ja C-ohjelmilla ja lähetettiin Internetiin Node-RED-ohjelmaa hyödyntäen. Testilaitteiston kokonaiskuva on esitetty kuvassa 3.2.



Kuva 3.2 Café IoT -casen kokonaisuus kaaviokuvana. Dataa kerätään erilaisilla antureilla ja mittalaitteilla Raspberry Pi'ihin ja lähetetään sieltä Node-REDin avulla Internetiin.

3.1 Anturit ja niiden kytkeminen Raspberry Pihin

Raspberry Pi 3 Model B:lle on olemassa useita eri ohjelmointikirjastoja ja se tukee useita eri liitäntöjä. Laitteessa on neljä USB 2 -porttia, langaton verkkoyhteys, Bluetooth, audioliitäntä, HDMI-liitäntä, DSI-liitäntä, kameran CSI-portti sekä neljäkymmentä liitäntäpinniä. Liitäntäpinneissä voidaan käyttää yleiskäyttöistä lähtö/tuloliitäntää (GPIO) sekä I²C- ja SPI-väyliä. Testialustassa anturit kiinnitettiin Raspberry Pi'ihin kuvan 3.3 mukaisesti. PIR-anturi hyödyntää GPIO:ta, tehomittari Z-Waven avulla SPI:tä, ilmanlaatusanturi komparaattorin kautta GPIO:ta, kamera CSI:tä, vaaka USB:tä ja Raspberry Pin päälle kiinnitettävä anturilevy Sense HAT hyödyntää GPIO:ta sekä I²C:tä.



Kuva 3.3 Raspberry Pi'iden liitännät sekä niihin liitetyt laitteet. Raspberry Pissa on monenlaisia liitäntöjä.

Testialustassa käytettiin passive infrared (PIR) -liikeanturia, joka havaitsee ympäröivää tilaa lämpimämmän kohteen liikkeen ja on valmiiksi AD-muunnettu. Kun lämmin kohde liikkuu anturin edessä, anturin lähtö antaa korkeaa jännitettä. Kun anturin edessä ei ole lämpimän kappaleen liikettä, antaa anturin lähtö nollaa.

PIR-anturi liitettiin Raspberry Pi 3:n GPIO-liitäntän pinneihin. GPIO-pinnit toimivat sekä lähtöinä että tuloina. Liitäntä on digitaalinen, eli sinne tulee syöttää matalaa tai korkeaa jännitettä. Suoraan GPIO-liitäntään kytkettynä PIR-anturi ei toimi halutulla tavalla. Maan,

anturin lähdön ja tulopinnan väliin lisättiin pull-down vastuskytkentä, jotta tulopinnan jännitetaso olisi joka hetkellä määriteltynä joko matalaksi (low, 0) tai korkeaksi (high, 1).

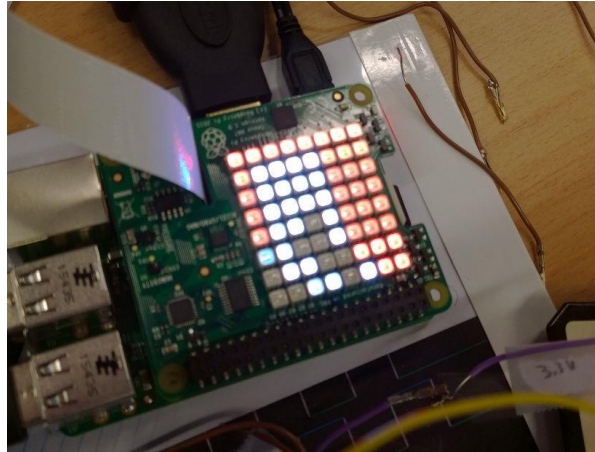
Valokuvien ottamiseen testialustassa käytettiin Pi Camera -kameramoduulia. Kamera kommunikoi isäntälaitteena toimivan Raspberry Pin kanssa Camera Serial Interface (CSI)-väylän kautta ja kykenee ottamaan valokuvan komentokehotteen avulla. CSI-väylä pohjautuu I²C-tekniikkaan, mutta sisältää useita dataväyliä. Kamera saa myös käyttäjännitteensä CSI:tä pitkin. (MIPI Alliance, 2016)

Kahvipakettien massan punnitseminen toteutettiin USB-liitäntäisellä Dymo S100 vaa'alla. Vaaka kestää maksimissaan 45 kg massan punnitsemista sadan gramman tarkkuudella ja saa virtansa joko mukana tulleella tehollähteellä, kolmesta AAA-paristosta tai USB-väylän kautta. Dymo-vaaka on USB Human-Interface Device (HID), joka tarkoittaa laitetta jolla ihminen voi ohjata tietokonetta tai tässä tapauksessa laitetta joka tarjoaa dataa samantyyppisellä formaatilla (Bergman et al. 2001). Vaaka valittiin, koska sillä on riittävä kapasiteetti kahvivarastoa varten ja koska datan siirtäminen siitä IoT-laitteeseen on helppoa USB-liitännän ansiosta (kuva 3.4).



Kuva 3.4 Dymo-vaaka kahvipakettikuormalla.

Lämpötilan, kosteuden ja ilmanpaineen mittaamiseen käytettiin Sense HAT -moduulia, joka on nimensä (Hardware Attached on Top) mukaisesti Raspberry Pin liitäntäpinnien päälle asetettava laajennuspiiri. Kyseessä on lisälaitte, jossa on 8x8 RGB-ledmatriisinäyttö, gyroskooppi, kiihtyvyyssanturi, magnetometri, lämpötila-anturi, paineanturi, kosteusanturi sekä pieni joystick. Näyttö tukee useaa eri väriä, koska jokaisessa 64:ssä pikselissä on kolme lediä, punainen (R), vihreä (G) ja sininen (B). Tämän ansiosta näytöllä voidaan näyttää esimerkiksi statustekstejä tai jopa yksinkertaista kuvagrafiikkaa (kuva 3.5).



Kuva 3.5 Sense HAT -moduuli kiinnitettynä Raspberry Pin päälle. Moduulissa on 8x8 ledmatriisinäyttö, jolla voidaan esittää tekstiä ja kuvia.

Vaikka Sense HAT kiinnittyy jokaiseen liitäntäpinniin, ei se käytä niistä kaikkia. Anturit ja ledejä ohjaava siirtorekisteri käyttävät pääosin I²C-pinnejä, joten moni yleiskäyttöinen GPIO-pinni jää vapaaksi muita antureita varten (Adams, 2014).

Café IoT -testialustaan liitettiin ilmanlaadun seuraamiseksi MikroElektronikan Air quality click -anturilevy. Anturilevyssä on anturina MQ-135 kaasuanturi, jonka tinadioksidikerroksen johtavuus kasvaa saasteisessa ilmassa. Tinadioksidin johtavuus kasvaa ammoniakkin, typen oksidien, bentseenin, savun, hiilidioksidin ja useiden muiden haitallisten kaasujen vaikutuksesta (Mikroelektronika, 2016).

Air quality click -anturilevyssä on analoginen lähtö ja saasteisessa ilmassa anturilevyn antama lähtöjännite on suurempi kuin puhtaassa ilmassa. Anturilevy toimii 5 V jännitteellä, mikä saadaan suoraan Raspberry Pin GPIO-liitännästä, mutta Raspberry Pi:ssä ei ole analogisia tuloja. Jotta anturilevyn antama analoginen signaali saatiin muutettua digitaaliseksi ja kytkettyä Raspberry Pin GPIO-pinneihin, rakennettiin anturilevyn ja GPIO-liitännän väliin komparaattori LM358 operaatiovahvistimella.

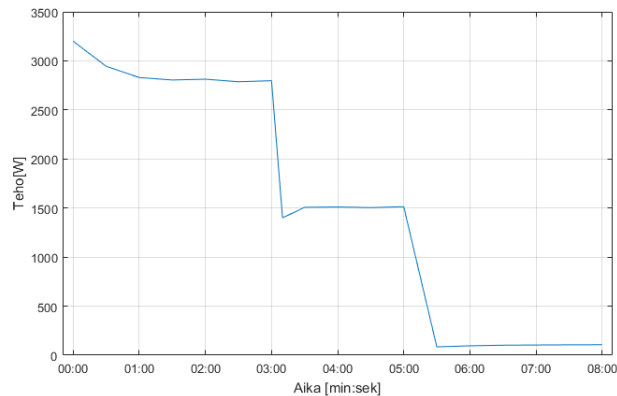
Komparaattorin referenssitaso määritettiin kokeellisesti mittaamalla anturin lähtöjännitettä puhtaassa huoneilmassa sekä erilaisilla poikkeamilla. Muutosta tutkittiin voimakkaan hengittämisen hiilidioksidilla sekä liuottimesta haihtuvalla kaasulla. Referenssitaso määritettiin komparaattorille jännitteenjaon avulla. Komparaattorin avulla saadaan karkea tieto siitä, onko ilmanlaatu huonoa vai ei.

3.2 Tehomittaus

Tietoa siitä, onko kahvi laitettu keittymään tai keittynyt ryhdyttiin tutkimaan sähkötehon kulutusta tarkastelemalla. Aluksi oletettiin, että kahvinkeitin keittovastus sammuu, kun kahvi on keittynyt. Tämä oletus tarkistettiin keittämällä vettä ja kahvia kahvihuoneella ja mittaamalla tehoa halvalla energiankulutusmittarilla määrääjain. Energiankulutusmittarin Paget Trading Ltd 9149 mittaustarkkuus on riittävä mitattaessa lähes puhtaasti resistiivisiä sähkölaitteita.

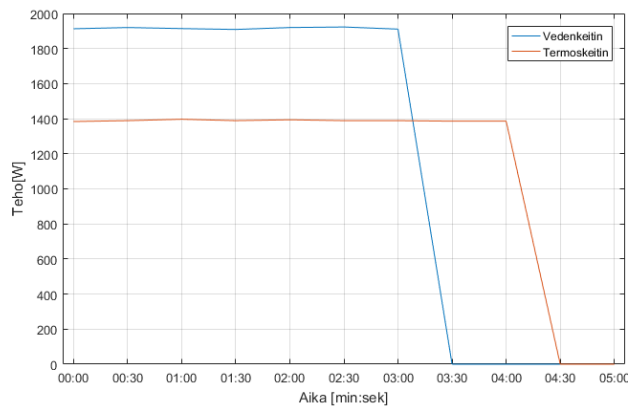
Kaksois-Moccamaster on kahvinkeitin, jolla voi keittää kahta kahvipannua kerrallaan. Toiseen pannuun keitettiin 6 kuppia ja toiseen täydet 10 kuppia, jotta nähtäisiin miten sähkötehon kulutus käyttäytyy kun toinen pannu on jo keitetty toisen vielä keittyessä.

Kuvassa 3.6 on esitetty sähkötehon kulutus ajan funktiona. Kuvasta näkee että, 6 kuppia keittyi noin kolmeen ja täysi noin viiteen minuuttiin. Vesien keittyttyä sähkönkulutus laski noin 110 wattiin, eli 55 wattiin per levy, joka on siis pannun lämmön ylläpitovastuksen teho.



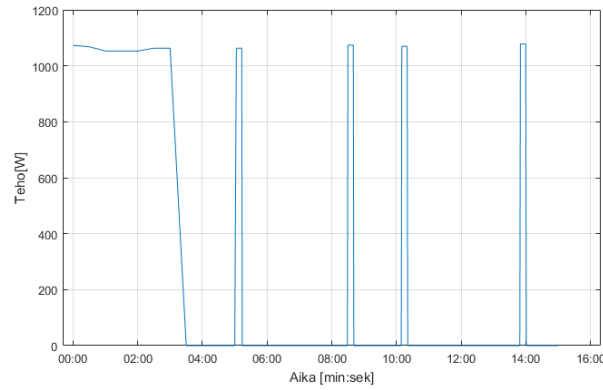
Kuva 3.6 Kaksois-Moccamasterin sähkötehon kulutus ajan funktiona. Kulutus putoaa 55 wattiin kahvin ollessa valmista. Kulutuskäyrä on porrasmainen, koska toiseen pannuun keitettiin enemmän kahvia.

Termos-Moccamaster on kahvinkeitin, joka keittää kahvit suoraan yhteen termospannuun. Termospannussa ei ole lämmitysvastusta, joten kun kahvit on keitetty, laskee sähkönkulutus nolnaan wattiin (kuva 3.7). Myös vedenkeitin on on/off-laite – kun vedet on keitetty, sähköä ei kulu.



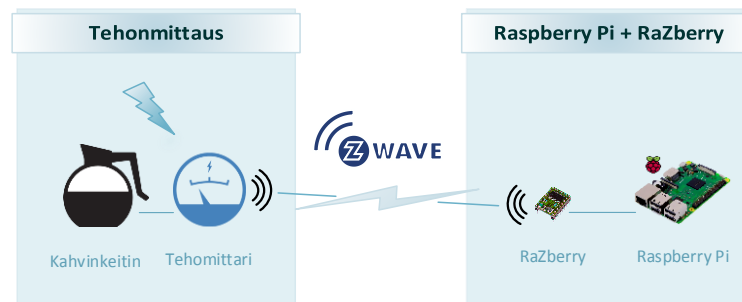
Kuva 3.7 Termos-Moccamasterin ja vedenkeitimen sähkötehon kulutus ajan funktiona. Kulutus putoaa nolnaan kahvin ollessa valmista.

Jotkin kahvinkeitinmallit ylläpitävät jälkilämpöä vaihtelemalla tehonkulutusta täyden tehon (noin 1100 wattia) ja nolnan watin välillä. Tällaisesta keittimestä on haasteellisempaa havaita sähkönkulutusta tarkastelemalla milloin kahvi on laitettu keittymään tai se on keittynyt. Kuvassa 3.8 on esitetty tällaista tekniikkaa käyttävän keittimen tehonkulutus ajan funktiona, kun kahvi on keittynyt.



Kuva 3.8 Edullisen kahvinkeitin tehonkulutus ajan funktiona kahvin keittymisen jälkeen. Tehonkulutus vaihtelee nollan ja 1100 watin välillä.

Tehomittausten perusteella testialustan kahvinkeitinseuranta päätettiin toteuttaa Moccamasteriin, koska sen tehonkulutuskäyrästä on helppo arvioida milloin kahvi on keittynyt. Mittariksi valittiin etäluettava pistorasiatehomittari Hauppauge 1556, joka käyttää Z-Wave-teknologiaa. Z-Wave on Sigma Solutionsin omistama langaton tiedonsiirtotekniikka joka toimii EU-alueella radiotaajuudella 868 MHz. Z-Wave -laitteet ovat keskenään yhteensopivia ja niitä voi yhdistellä valmistajasta riippumatta. Mittari valittiin, koska datan saa Z-Wavella Raspberry Pihin liitettävän RaZberry-lähetin-vastaanottimen kautta. RaZberry kiinnittyy GPIO-liitäntään. Tehomittauksen periaate on esitetty kuvassa 3.9.



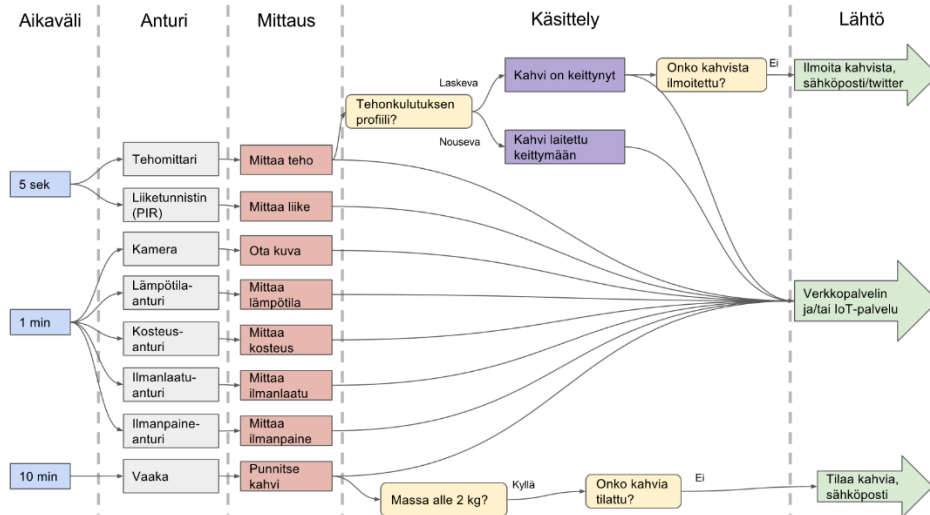
Kuva 3.9 Tehomittauksen periaate. Kahvinkeitin sähkönkulutus mitataan tehomittarilla, jonka mittausdata lähetetään langattomasti Raspberry Pihin Z-Wave-teknikan avulla RaZberry-lähetin-vastaanottimen kautta.

3.3 Datan käsittely Raspberry Pissa

Antureilta IoT-laitteelle saapuva sähköinen signaali voi olla analogista tai digitaalista, mutta tutkielman Raspberry Pi 3:ssa on ainoastaan digitaalisia tuloja. Tulosignaalia käsitellään ohjelmilla, jotta anturidata saadaan tietokoneille yhteensopivaksi ja lähetettyä Internetiin. Ohjelmat lukevat laitteen tuloliitäntöjä, analysoivat ja tallentavat niistä saatua dataa sekä käsittelevät datavirtoja. Tutkielman ohessa käytettiin Python- ja C -kielisiä ohjelmia anturidatan tutkimiseen. Ohjelmat avaavat yhteyden Raspberry Pin tuloliitäntään, ja tulostavat mitatun arvon sekä näytölle että lokitiedostoon. Näitä ohjelmia käynnistää erillinen datavirtojen käsittelyyn suunniteltu ohjelma Node-RED.

Koko laitteen toiminta perustuu tietyn aikavälin mittauksiin, joihin kaikkiin liitetään timestamp eli aikaleima. Mikäli mittauksissa havaitaan, että johonkin asiaan tulee reagoida, tehdään tarvittavat toimenpiteet. Esimerkiksi kahvin punnitsemisen jälkeen tilataan kahvia

lisää, jos sitä on liian vähän. Tehonkulutuksen äkillinen nousu taas merkitsee, että kahvia on laitettu keittymään, ja äkillinen lasku merkitsee kahvin olevan valmista tai laitteesta on sammutettu virta. Nämä kaksi voidaan erottaa siten, että kahvin ollessa keittynyt, jää lämmityslevyn vastukseen virta. Järjestelmän ohjelmoinnin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.10.



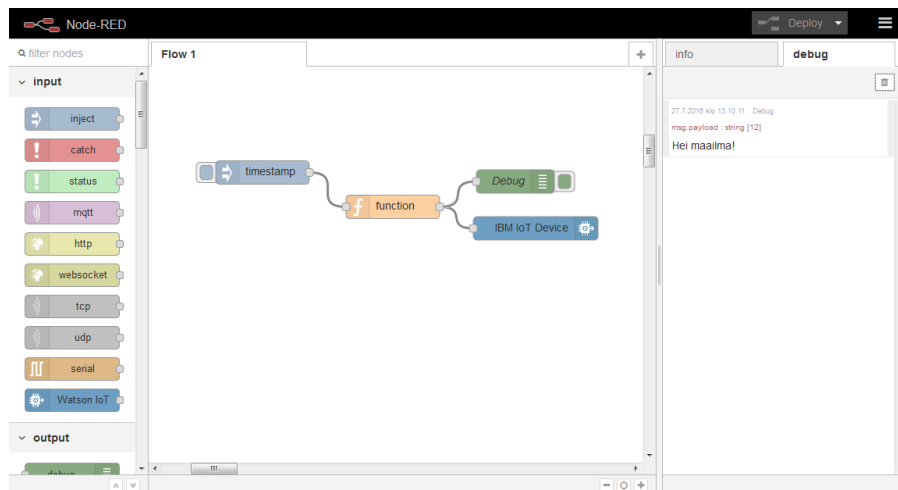
Kuva 3.10 Café IoT-laitteiston ohjelmatoteutus. Kuvassa on esitetty laitteiston toiminnot ja niistä seuraavat ja niitä edeltävät tarkastukset.

3.3.1 Node-RED

Testilaitteessa käytettiin datankäsittelyyn Node-RED:iä. Node-RED on IBM Emerging Technologiesin kehittämä ja The Javascript Foundationin ylläpitämä visuaalinen työkaluohjelmisto, jolla voidaan yhdistää laitteistot, ohjelmointirajapinnat ja internetpalvelut yhteen. (IBM Emerging Technologies) Käytännössä Node-RED on IoT-laitteelle asennettava sovellus, joka toimii välikätenä laitteen fyysisten pinnien tai langattoman vastaanottimen ja IoT-palveluntarjoajan tai ulkoisen verkkopalvelimen välillä. Node-RED kykenee vastaanottamaan dataa sekä laitteen sisältä että Internetistä.

Node-RED:in toiminta perustuu erilaisten solmujen (nodes) yhteen kytkemiseen. Solmujen avulla luodaan tai muokataan viestejä (messages, msg), joita lähetetään virtaan (flow). Viestejä luodaan input-solmujen avulla. Solmut aktivoituvat herätteestä, jotka voivat tulla ulkoisesti muun muassa Internetistä ja laitteen sarjaportista, sekä Node-RED-ohjelman sisältä solmua klikkaamalla. Herätteenä voi toimia myös aika; inject-solmu avulla voidaan konfiguroida aktivoitumaan tietyn ajan välein. Input-solmun aktivoituessa syntyy virtaan uusi viesti, johon voidaan lisätä dataa (payload). Usein input-solmun yhteydessä viestiin lisätään aikaleima (timestamp). Input-ja output -solmujen välillä viestien dataa voidaan käsitellä esimerkiksi funktio- tai exec -solmuilla. Näissä solmuissa viestiin voidaan lisätä dataa tai voidaan tehdä mahdollisia tapahtumia viestin sisällöstä riippuen. Output-solmujen avulla datavirta lähetetään haluttuun paikkaan, esimerkiksi verkkopalvelimelle tai IoT-palveluun.

Node-RED:iä hallitaan graafisella käyttöliittymällä, jossa solmut kytketään yhteen kuvan 3.11 osoittamalla tavalla, jossa on toteutettu perinteinen "Hei maailma" -esimerkki Node-RED:issä. (IBM Emerging Technologies) Testialustan ohjaus toteutettiin pääosin Node-RED:in avulla. Ohjelma kutsuu ulkoisia Python- ja C-skriptejä, joilla saadaan antureilta dataa.



Kuva 3.11 Hei Maailma! -esimerkkitoetus Node-RED:issä. Timestamp-solmu toimii inject-solmuna luoden viestin, johon asetetaan teksti “Hei Maailma!”. Debug-solmu näyttää viestin sisällön.

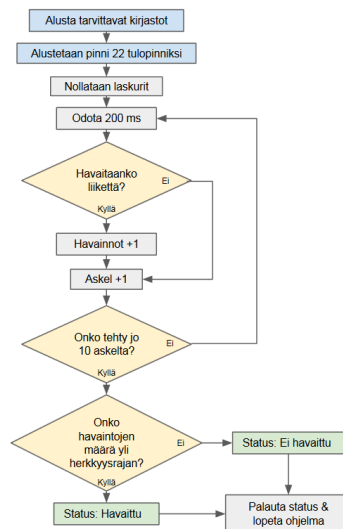
3.3.2 Anturidatan lukemisen ohjelmatoteutukset

Ohjelmatoteutukset ovat erillisiä skriptejä, joita käynnistetään tietyin väliajoin tai tietyssä tilanteissa Node-RED:in avulla. Antureiden lukeminen edellyttää usein erinäisiä kirjastoja. Esimerkiksi Sense HAT:n ja Pi Cameran data saadaan tallennettua yksinkertaisilla Python-ohjelmilla. Erityistä ohjauslogiikkaa ja ohjelmointia vaativat GPIO-pinneihin liitetyt anturit, USB-vaaka sekä pistorasiatehomittari.

Ohjelmistotasolla Raspberry Pin GPIO-pinnien tuloja voidaan lukea Pythonilla RPi.GPIO-kirjastoa hyödyntämällä. Kyseinen kirjasto on esiasennettu Raspberry Pille tarkoitettussa linux-jakeluissa, kuten käyttämässämme Raspbian Jessiessä. Kirjaston avulla voidaan käyttää GPIO-pinnejä sekä lähtöinä että tuloina.

PIR-anturin kytkennässä käytettiin GPIO-liitäntää. Virheellisten lukemien välttämiseksi, tulon arvo tallennetaan useaan kertaan tietyn aikavälin aikana, ja jotta henkilö todetaan havaituksi, tulee havaintoja olla yli puolet mittauskerroista. Testialustan PIR-anturi suorittaa kymmenen mittausa kahdessa sekunnissa ja niistä yli puolissa tulee mittausulos olla 1, jotta tulostetaan “Havaittu.”

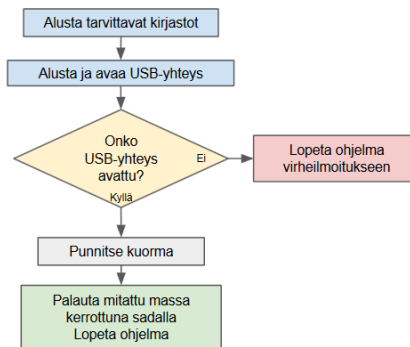
Koska laitteistossa käytettiin datan siirtämiseen Node-RED:iä, koodi toteutettiin sellaiseksi, että Node-RED:in exec-solmulla saadaan data Pythonista Node-RED:iin. Node-RED:in inject-solmulla hoidettiin koodin toistaminen tietyin aikaväleihin, joten koodi ei tarvinnut ikuista toistosilmukkaa. Ohjelmakoodi siis pyörii vain yhden 10 mittauksen syklin. Testausvaiheen Ohjelman toiminta on esitetty kuvassa 3.12.



Kuva 3.12 PIR-anturia käyttävä ohjelma esitetty vuokaaviona. Ohjelma koostuu kirjastojen sekä askelmuuttujien alustamisesta, mittaussilmukasta joka pysäytetään kun 10 mittausta on tehty. Mikäli havaintojen määrä ylittää herkkyysrajan, todetaan, että anturin edessä on liikettä.

Iلمانlaatuanturia käytetään miltei samalla tavalla kuin PIR-anturia. Komparaattorin avulla saadaan anturilta tieto, onko ilmanlaatu huonoa vai ei. Komparaattorin lähtö kytkettiin GPIO-liitäntään. Toiminta vastaa pienin muutoksin kuvan 3.17 mallia.

Dymo-vaan punnitsema data pystytään lukemaan USB-väylää pitkin C-ohjelmaa hyödyntäen. Ohjelmakoodi palauttaa mitatun massan grammoina. Node-RED käynnistää tämän C-ohjelman, jonka fprint-tulosteen Node-RED saa käsittelyynsä. Virhetilanteet on huomioitu siten, että USB-yhteyden ollessa muodostettu epäonnistuneesti, palautetaan virheilmoitus. Kuvassa 3.13 on esitetty vaan toimintaa ohjaava ohjelma vuokaaviona.

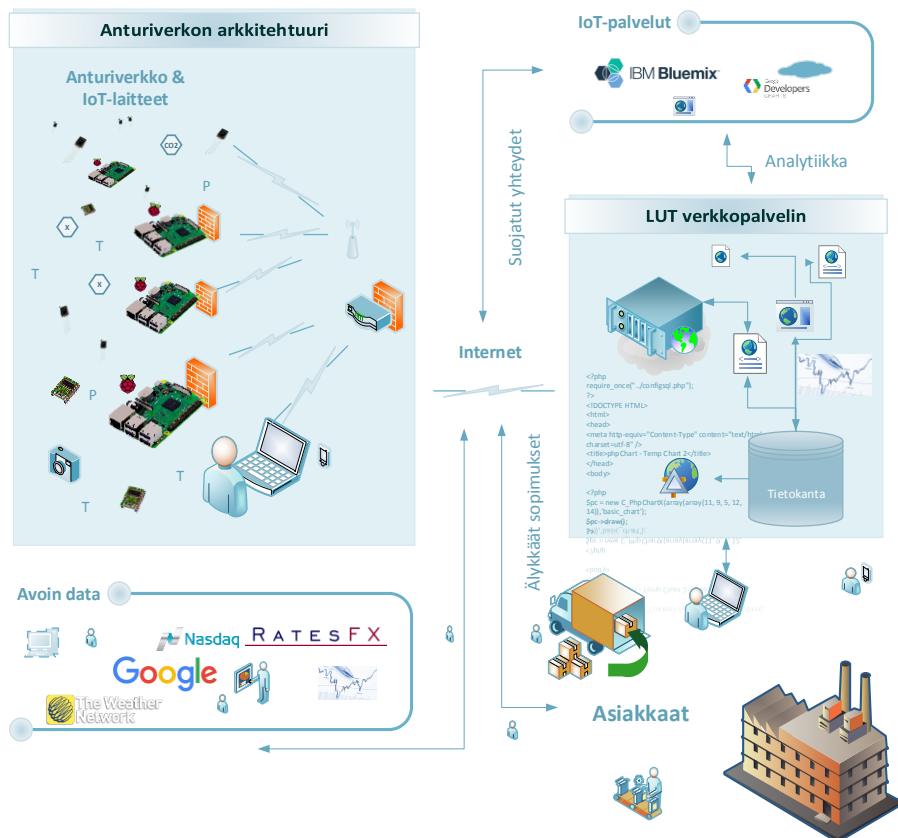


Kuva 3.13 Vuokaavio vaaka käyttävästä ohjelmasta. Ohjelma alustaa kirjastot USB-datan lukemiseen, ja mikäli yhteys vaakaan muodostetaan onnistuneesti, palautetaan mitattu massa.

Mikäli mitattu massa alittaa 2000 grammaa, lähetetään sähköpostitse kahvitilaus Node-RED:in avulla. Tähän sähköpostiin liitetään tarvittavat aika- ja tilaustiedot. Useiden tilausten peräkkäinen lähettäminen on estetty siten, että uutta tilausta ei lähetetä, ennen kuin varasto kuitataan täydennetyksi. Kuittaus suoritetaan lähettämällä testialustaa varten luotuun sähköpostiosoitteeseen viesti, jonka tekstisisältö on "OK". Tämän jälkeen laitteisto ilmoittaa jälleen, mikäli varasto hupenee alle 2000 grammaa.

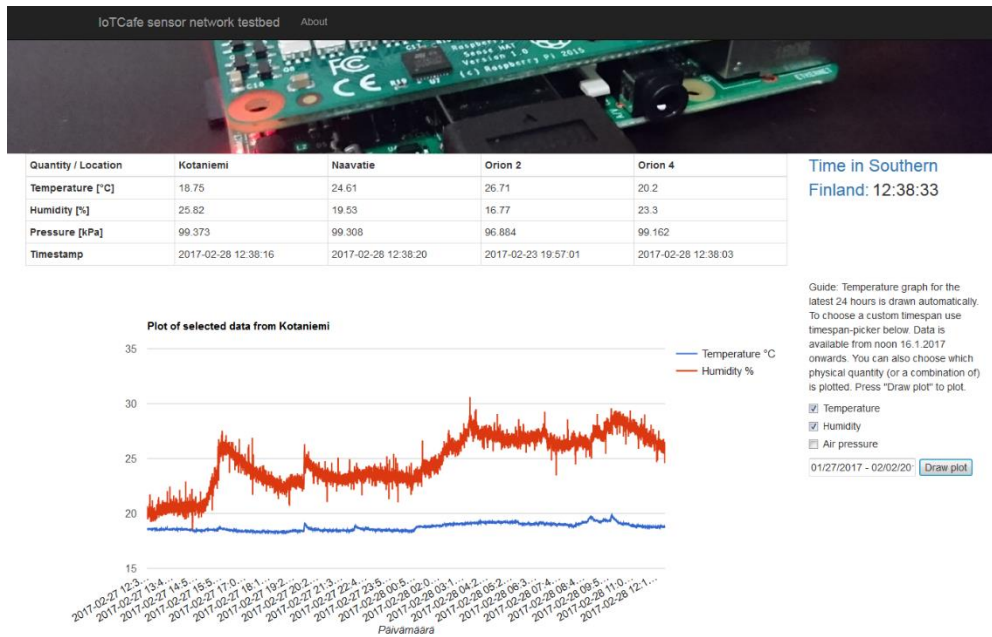
3.4 Anturiverkon arkkitehtuuri

IoT-järjestelmien arkkitehtuuri koostuu IoT-laitteista, antureista, Internetyhteydestä, verkkopalvelimesta tai IoT-palvelusta. Sidosryhminä IoT-järjestelmissä ovat loppukäyttäjät/asiakkaat sekä ylläpitäjät. Systemin ulkopuolelta järjestelmään voidaan liittää myös dataa esimerkiksi open data -palveluista. Esimerkiksi Nordpoolin sähkön markkinahinta sekä Ilmatieteen laitoksen säätiedot voidaan liittää IoT-järjestelmään, jolloin itse anturoitu data voidaan yhdistää samana aikana taltioituun muuhun dataan. Anturidataa siirretään Internetin välityksellä palvelimen tai IoT-palvelun kautta loppukäyttäjän käyttöliittymälle, jotta asiakas voi hyötyä järjestelmästä. Data voidaan joko lähettää palvelimelle tai IoT-palveluille sellaisenaan, tai sitä voidaan käsitellä IoT-laitteissa.



Kuva 3.14 Anturiverkon IoT-järjestelmän arkkitehtuuri. Usea Raspberry Pi kerää dataa asuntokehteista ympäri Lappeenrantaa. Tämä data voidaan siirtää verkkopalvelimelle ja IoT-palveluihin. Avointa dataa hyödyntämällä voidaan tehdä laajempaa analyysiä datoista yhdistämällä niitä toisiinsa.

Laajemman IoT-järjestelmän tutkimiseksi ja havainnomiseksi rakennettiin IoT-anturiverkko IoTcafé Testbed, joka koostuu useasta Raspberry Pista ympäri Lappeenrantaa. Raspberry Pit ovat eri verkkojen kautta yhteydessä yhteen www-palvelimeen, jossa data tallennetaan tietokantaan. Anturiverkon arkkitehtuuri on esitetty kuvassa 3.14. Tietokannan tietoja voidaan tarkastella www-sovelluksen avulla osoitteessa www.jj.iotcafe.fi, joka toimii laiteverkoston kokeilualustana. Kuvakaappaus websivusta on esitetty kuvassa 3.15. Websivustolta asiakas voi seurata järjestelmän mittaamaa huoneistodataa graafisessa muodossa sekä taulukoituna.



Kuva 3.15 jj.iotcafe.fi-verkkosivuston kuvakaappaus. Sivustolla on väliajoin päivittyvä taulukko, jossa on mittausdataa eri kohteista. Käyttäjä voi myös piirtää kuvaajan yhden kohteen mittausdatasta.

4. TULOSTEN ANALYYSI

IoT-järjestelmät ovat houkutteleva kohde kyberrikollisille. Tätä uhkaa vastaan taistellaan muun muassa palomuurien ja tiedon salauksen avulla. Kyberturvallisuusasiat unohtuvat monesti ja niiden laiminlyönti voi aiheuttaa tietoturvallisuusriskejä, jolloin laitteen hallinta voidaan menettää ja laitteen keräämää dataa voidaan väärinkäyttää. Autonomisten laitteiden ja järjestelmien kehittyessä herää kysymyksiä siitä, ovatko laitteet tarpeeksi älykkäitä luottaaksemme henkemme niiden käsiin. Ensimmäiset itsestään ohjautuvat autot ovat jo maanteillä, ja ovatkin jo vaatineet ensimmäisen ihmishengen (Fortune.com, 2016). Voidaan toki myös esittää kysymys, voiko laitteista tulla liian älykkäitä. Kauhuskenaariona tästä on Terminator-elokuvien kaltainen tapahtumaketju, jossa Skynet-tietoverkko rakennetaan niin älykkääksi, että se saavuttaa tietoisuuden ja ottaa vallan ihmisiltä aiheuttaen ydinsodan ja koneiden kapinan.

Raspberry Pi soveltuu IoT-laitteeksi erityisesti sen liitännöiden ja dataväylien takia. Lisäksi se on pieni, edullinen ja ohjelmoijajoustavallinen. Raspberry Pin suurin puute on se, ettei siinä ole analogisia tuloja. Analogisten antureiden data täytyy muuttaa AD-muuntimilla tai komparaattoreilla digitaaliseen muotoon, jotta Raspberry Pi tukee sitä. Kuitenkin voidaan todeta Raspberry Pin sopivan IoT-käyttöön varsinkin harrastelijakäytössä. Laajemmissa järjestelmissä myös analogisia tuloja suoraan tukeva IoT-laite olisi parempi.

Café IoT-testialustaan valitut anturit toimivat demotarkoituksessa hyvin ja niiden avulla pystyi havainnollistamaan kuinka erilaisia ja eri dataväyliä hyödyntäviä antureita voidaan kytkeä Raspberry Pihin. Testialustan tarpeisiin osa antureista oli tarpeettomia; esimerkiksi gyroskooppi ja kiihtyvyyssanturi olivat turhia, koska testialustan Raspberry Pi on paikallaan.

Node-RED on yksinkertainen graafinen työkalu datavirtojen hallintaan ja ohjelmien käynnistämiseen IoT-laitteissa. Node-RED sisältyy Raspbianin Jessie-jakeluun, ja se todettiin myös kykeneväksi toimimaan usean Raspberry Pin järjestelmässä, kun anturiverkon arkkitehtuuria tutkittiin. Tästä voidaan todeta, että Node-RED on hyvä työkalu datavirtojen käsittelyyn Raspberry Pissa.

4.1 Jatkokehityskohteita demolaitteistolle

Yksi jatkokehityksen mahdollisuus on antureiden määrän lisääminen kahvihuoneelle, jonne testialusta sijoitetaan. PIR-liiketunnistimen dataa voisi myös jatkokäyttää ihmisvirtojen ennustamista varten. Kerätystä datasta voitaisiin luoda ennusteita, milloin kahvihuoneessa on eniten liikennettä ja täten rauhaisaa kahvituokiota kaipaava voi tahdittaa työpäivänsä sen mukaan. Café IoT:n avulla voitaisiin myös luoda strategisia kulutusennusteita tutkimalla kahvin kulutusta. Samankaltaisia autonomisia IoT-järjestelmiä voitaisiin siten sovittaa myös muihin kohteisiin. Vastaavilla laitteilla voisi seurata myös isompien yritysten hyödykkeiden varastotilanteita ja luoda ennustemalleja kerätyn datan perusteella.

Ohjelmointiteknisesti suurimmat jatkokehitystarpeet ilmenevät virheensietokyvyssä. Vaakaohjelma voisi tehdä painomittauksia niin kauan, kunnes saadaan kaksi peräkkäistä samaa tulosta. Näin pystyttäisiin minimoimaan virheelliset mittaukset, jos vaaka esimerkiksi mittaa lukeman juuri sillä hetkellä kun kahvivarastolla ollaan asioimassa. Liikehdintä, kuten pakettien määrän lisääminen tai vaikka hyllyn tahaton tönäisy voivat aiheuttaa heiluntaa mittauksissa.

Raspberry Pi tarjoaa vakiona tuen ainoastaan digitaalisille liitännöille, joten analogisia antureita kytkiessä tarvitaan AD-muunnin, joka on yksi jatkokehityskohde. Analogisten tulojen puute jouduttiinkin ratkaisemaan kompromissilla ilmanlaatuanturin kohdalla. Itse anturimallin lähtö on analoginen, eli se kertoo jännitetasona, kuinka huonoa ilma on. Tässä toteutuksessa päädyttiin muuttamaan anturi digitaalseksi komparaattorilla, jolla saamme vain kaksi mahdollista tilaa, joko laatu on hyvä tai huono. Useissa sovelluksissa tämä ei kuitenkaan riitä.

Tehomittausta varten tulisi valita parempi tehomittari kuin Hauppauge/Z-Wave. Mittareiden löytäminen on ongelmallista, koska valtaosa mittareista pystyy olemaan yhteydessä vain valmistajan oman ohjelmiston kanssa. Sense HAT:in lämpötilamittari on melko epätarkka, sillä itse anturilevyn lämpötila vaikuttaa mittaustulokseen merkittävästi.

5. YHTEENVETO

IoT-järjestelmien arkkitehtuuri koostuu IoT-laitteista, antureista, Internetyhteydestä, verkkopalvelimesta tai IoT-palvelusta ja loppukäyttäjistä tai asiakkaista. Järjestelmään voidaan liittää myös ulkoista dataa esimerkiksi open data -palveluista. Anturidataa siirretään verkon välityksellä palvelimen tai IoT-palvelun kautta loppukäyttäjälle. Lisäksi tarvitaan sovelluskohtainen ohjelmisto ja käyttöliittymä, jotta asiakas voi hyötyä järjestelmästä.

Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla oli tarve digitaalisten toimitusketjujen tutkimiseen sopivalle IoT-testialustalle. Yliopiston seitsemännen rakennusvaiheen kahviotilaan suunniteltiin IoT-järjestelmä – Café IoT-kahvinkeitin, jolla voidaan demonstroida ja tutkia IoT-käyttöä digitaalisessa toimitusketjussa. Kahviotilan toimintoja monitoroidaan ja kerätyn datan perusteella voidaan optimoida kahvivilan toimintoja testialustan avulla. Testialustan avulla voidaan esimerkiksi ennakoita kahvin kulutusta ja laatia strategisia kuluttajaennusteita, jotka tuovat arvoa kerätylle datalle. Itsestään kahvia tilaava IoT-laite on esimerkki digitaalisesta toimitusketjusta, jossa ihmisvälikäsi poistetaan.

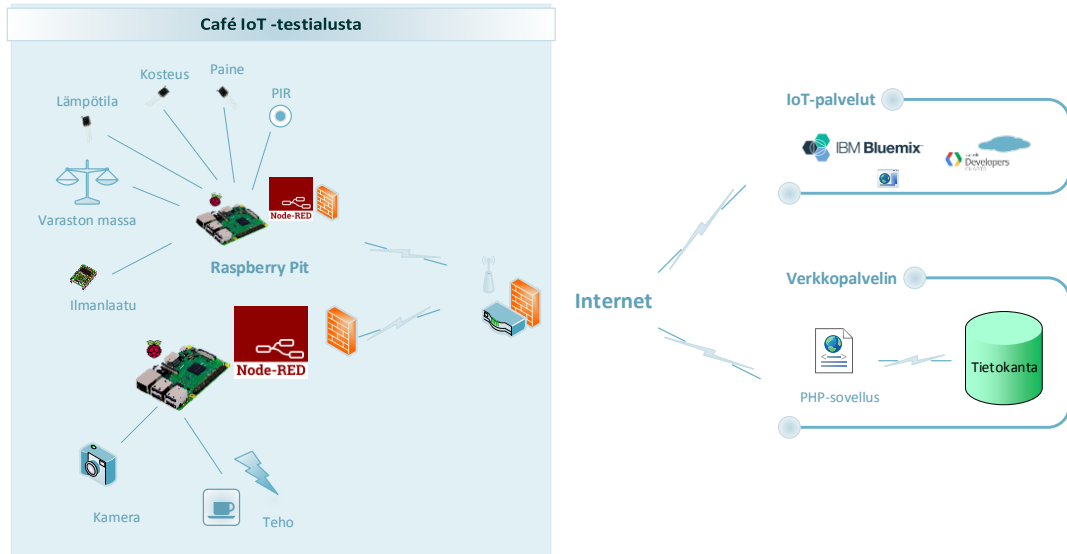
Testialusta suunniteltiin toteutettavaksi kahdella Raspberry Pi -korttitietokoneella. Tutkimuksen aikana Raspberry Pi oli edullinen ja helposti saatavilla oleva tietokone. Linux-pohjaisuutensa ansiosta se oli mahdollista valjastaa monenlaiseen käyttöön. Niille on olemassa useita eri ohjelmointikirjastoja ja se tukee useita liitännätapoja. Raspberry Pi:ssä on vain digitaalisia tuloja, joten analogisia antureita käytettäessä tarvitaan erillinen AD-muunnos.

Kahvihuoneen ympäristöä seurattiin erilaisten antureiden avulla. Café IoT -testialustan Raspberry Pi'ihin kytkettiin kiinni USB-vaaka, sähkötehomittari, liikeanturi, ilmanlaatuanturi, lämpötila-, ilmanpaine- ja kosteusanturit sekä kamera. Kahvihuoneen kahvivarastoa seurattiin mittaamalla kahvipakettien massaa vaakaalla. Kahvinkeittoprosessia seurattiin mittaamalla kahvinkeitin sähköverkosta ottama sähköteho. Sähkötehon mittaamiseksi valittiin langaton pistorasiaan liitettävä energiamittari, joka yhdistyy Raspberry Pi:hin radiolinkin avulla.

Käytetyt anturit toimivat testialustalla halutulla tavalla tehomittaria lukuun ottamatta, sillä se osoittautui epäluotettavaksi. Osa antureista on tarkkuudeltaan vain suuntaa antavia, mutta testialustan arkkitehtuuri itsessään on toimiva. Raspberry Pi:n digitaalisten tulojen ja antureiden erilaisten ominaisuuksien takia, jouduttiin jokaisen anturin lukemiseksi suunnittelemaan omanlaiset kytkennät. Lisäksi anturit vaativat omat ohjelmansa Raspberry Pi:hin.

Testialustassa käytettiin ohjelmointiympäristönä graafista Node-RED-ohjelmointityökalua. Node-RED:llä käynnistetään Python ja C -kielisiä ohjelmia valitun ajan välein, sekä sillä toteutetaan toiminnallisuksia ehtolausekkeiden avulla. Node-RED:stä data lähetetään Internetin välityksellä palvelimelle ja/tai IoT-palveluun, kuten IBM Bluemixiin.

Tiedon varastoinnin ja esittämisen testaamiseksi antureilta saatu data tallioidaan MySQL-tietokantapalvelimelle, josta tietoa voidaan visualisoida websivulle. Websivulla tietoa esitetään päivittyvänä taulukkona ja graafina, jossa näkyy asetetun aikavälin mittaukset. Websivun lisäksi asiakkaan toisena käyttöliittymänä toimii Twitter, jonne data saadaan suoraan Raspberry Pi:stä, kulkematta tietokannan kautta. Testialustan järjestelmäarkkitehtuuri on esitetty kuvassa 5.1.



Kuva 5.1 Testialustan arkkitehtuuri. Systemi koostuu kahdesta Raspberry Pi:stä antureineen, ja niiltä lähetettävä data siirtyy Internetin välityksellä IoT-palveluihin ja/tai verkkopalvelimelle.

LÄHTEET

- Adams, James. "Introducing Raspberry Pi Hats - Raspberry Pi". *Raspberry Pi Foundation*. 2016. Viitattu: 8/2016. Saatavilla: <https://www.raspberrypi.org/blog/introducing-raspberry-pi-hats/>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376
- Bergman, Mike et al. "Device Class Definition For Human Interface Devices (HID)". Versio 1.11. *USB Implementers' Forum*. 2001.
- Bertino, Elisa, and Nayeem Islam. "Botnets and Internet of Things Security." *Computer* 50.2 (2017): 76-79.
- Chui, Michael et al. "The Internet of Things". *McKinsey & Company*. 2010. Web. Viitattu: 8/2016. Saatavilla: <http://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/the-internet-of-things>
- Demestichas, Panagiotis, et al. "Managing an autonomic future internet." *IEEE Network* 25.6 (2011): 4-6.
- Dickson, Ben. "Why Iot Security Is So Critical". *TechCrunch*. 2016. Web. Viitattu: 7/2016. Saatavilla: <https://techcrunch.com/2015/10/24/why-iot-security-is-so-critical/>
- Elfrink, Wim. "The Internet of Things: Capturing the Accelerated Opportunity". *World Forum on Internet of Things (WF-IoT) 2014*. 2014.
- Fehrenbacher, Katie. "Feds Say Safety Is The Key To The Future Of Autonomous Cars". *Fortune.com*. 2016. Web. Viitattu: 7/2016. Saatavilla: <http://fortune.com/2016/07/19/safety-feds-autonomous-cars/>
- Fortes, José. "What Is Autonomic Computing?". *Science Node*. 2011. Web. Viitattu: 8/2016. Saatavilla: <https://sciencenode.org/feature/what-autonomic-computing.php>
- Goodin, Dan. "9 Baby Monitors Wide Open To Hacks That Expose Users' Most Private Moments". *Ars Technica*. 2016. Web. Viitattu: 7/2016. Saatavilla: <http://arstechnica.com/security/2015/09/9-baby-monitors-wide-open-to-hacks-that-expose-users-most-private-moments/>
- IBM Emerging Technologies. "Node-RED". *Nodered.org*. 2016. Viitattu 6/2016. Saatavilla: <http://www.nodered.org>
- Ibrahim, Mohannad, et al. "Internet of things based smart environmental monitoring using the raspberry-pi computer." *Digital Information Processing and Communications (ICDIPC), 2015 Fifth International Conference on*. IEEE, 2015.

Interoute Communications Ltd. "What Is Paas". *Interoute.fi*. 2013-2016. Viitattu: 7/2016. Saatavilla: <http://www.interoute.fi/what-paas>

Johnston, Steven, et al. "Applicability of commodity, low cost, single board computers for Internet of Things devices." *World Forum on Internet of Things (WF-IoT) 2016*. 2016.

Lawson, Stephen. "Industrial Iot Still Needs Humans -- And User Interfaces". *PCWorld*. 2016. Web. Viitattu 7/2016. Saatavilla: <http://www.pcworld.com/article/3041050/industrial-iot-still-needs-humans-and-user-interfaces.html>

Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*.

Lopez Research LCC. "An Introduction To The Internet Of Things (Iot)". 2013. Viitattu: 7/2016. Saatavilla: http://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/introduction_to_IoT_november.pdf

Mikroelektronika. "Air Quality Click". *Mikroe.com*. Viitattu 7/2016. Saatavilla: <http://www.mikroe.com/click/air-quality/>

MIPI Alliance. "Camera Interface Specifications". *Mipi.org*. Viitattu 7/2016. Saatavilla: <http://mipi.org/specifications/camera-interface>

Motorola. "LM358 Pdf Datasheet". *Pdf1.alldatasheet.com*. Datalehti. Viitattu: 8/2016. Saatavilla: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/3067/MOTOROLA/LM358.html>

Quva. "Yritysjohdon opas IoT:n ja teollisen internetin hyödyntämiseen". 2016. Viitattu: 8/2016 Saatavilla: http://quva.fi/site/attachments/yritysjohdon_opas_IoT_ja_teollisen_internetin_hyodyntamiseen.pdf

Raspberry Pi Foundation. "GPIO: Raspberry Pi Models A And B - Raspberry Pi Documentation". *Raspberrypi.org*. Viitattu 7/2016. Saatavilla: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>

Raspberry Pinout. Viitattu 8/2016. Saatavilla: <http://pinout.xyz/>

Sezer, O. B., Dogdu, E., Ozbayoglu, M., & Onal, A. (2016, December). An extended IoT framework with semantics, big data, and analytics. In *Big Data (Big Data)*, 2016 IEEE International Conference on (pp. 1849-1856). IEEE.

Wind River Systems. "Security In The Internet Of Things". 2015. Web. Viitattu: 7/2016. Saatavilla: http://www.windriver.com/whitepapers/security-in-the-internet-of-things/wr_security-in-the-internet-of-things.pdf

LIITTEET

Liite 1. Node-RED:in käynnistämä python-skripti PIR-anturin lukemiseksi

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import sys

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
pin = 22
GPIO.setup(pin,GPIO.IN)

havaitut = 0
count = 0
herkkyys = 5

while True:
    time.sleep(0.2)
    if (GPIO.input(pin)):
        havaitut += 1
        count += 1

        if (count == 10):
            if (havaitut > herkkyys):
                status = "Havaittu"
            else:
                status = "Ei havaittu"
            sys.exit(status)

break
```

Liite 2. Node-RED:in käynnistämä python-skripti ilmanlaatuanturin lukemiseksi

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import sys

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
pin = 25
GPIO.setup(pin, GPIO.IN)

havaitut = 0
count = 0
herkkyys = 5

while True:
    time.sleep(0.25)
    if (GPIO.input(pin)):
        havaitut += 1
        count += 1

    if (count == 10):
        if (havaitut > herkkyys):
            status = "Havaittu"
        else:
            status = "Ei havaittu"
        sys.exit(status)
break
```

Liite 3. Vaa'an käyttöä ohjaava koodi

```
/* JJ - sovelabra kesä 2016
* Vaaka of things
* Lähde: http://ubuntuforums.org/showthread.php?t=2044904&page=2
*/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/ioctl.h>
#include <sys/stat.h>
#include <sys/types.h>
#include <asm/types.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#include <linux/hiddev.h>
#define EV_NUM 2

int main(int argc, char **argv)
{
    int usb_kahva = -1;
    struct hiddev_event ev[EV_NUM];
    char nimi[100];
    int lukema;

    /* Käyttövinkki, jollei tiedä miten ajetaan. */
    if (argc != 2)
    {
        printf("Ohje: %s hiddevice - luultavasti /dev/usb/hiddev0\n", argv[0]);
        exit(0);
    }

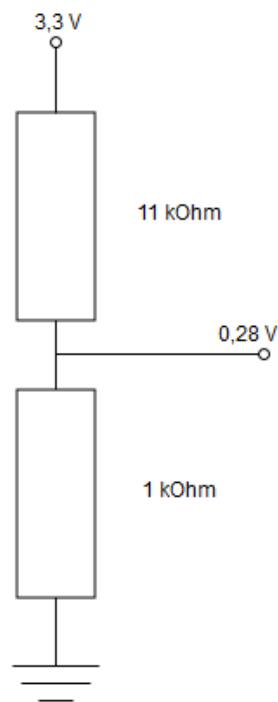
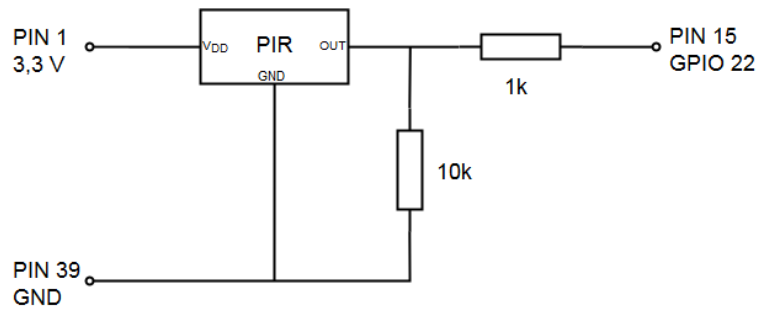
    /* Usb-yhteyden avaus */
    if ( (usb_kahva = open(argv[1], O_RDONLY)) == -1 )
    {
        perror("USB-kahvan avaus ei onnistunut. Onko vaaka liitetty?");
        exit(0);
    }

    /* Kysyy hid-vehkeen nimen käyttöjärjestelmältä */
    ioctl( usb_kahva, HIDIOCGNAME(100), nimi);

    /* Epäkommentoi käyttöliittymä näkyviin */
    /* printf("OK, nimi on '%s'\n"
        "Luetaan arvoja...\n", nimi); */

    /* printf ulostaa painon grammoina */
    if ( read(usb_kahva, ev, sizeof(struct hiddev_event) * EV_NUM) == -1 )
    {
        perror("Vaaka-dataa ei saatu luettua.");
        exit(0);
    }
    else
    {
        lukema = ev[1].value;
        printf("%d\n", lukema*100);
    }
    if (close(usb_kahva) == -1)
    {
        perror("Kahva ei sulkeutunut.");
        exit(0);
    }
    return 0;
}
```


Liite 4: PIR-anturin pull-down –vastuskytkentä, jännitteenjakokytkentä ja LM358-operaatiovahvistimen pinnijako



PIN CONNECTIONS

