



TULEVAISUUDEN INTERNET OF THINGS (IoT) MITTAUSYMPÄRISTÖT



Centria. Raportteja ja selvityksiä, 6

Pertti Verronen, Heidi Kaartinen, Sakari Nokela

TULEVAISUUDEN INTERNET OF THINGS (IoT) MITTAUSYMPÄRISTÖT

Centria-ammattikorkeakoulu 2016

JULKAISIJA:

Centria-ammattikorkeakoulu
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

JAKELU:

Centria kirjasto- ja tietopalvelu
kirjasto.kokkola@centria.fi, p. 040 808 5102

Taitto: Centria-ammattikorkeakoulun markkinointi- ja viestintäpalvelut
Kannen kuva: Adobe Stock -kuvapalvelu

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 6
ISBN 978-952-7173-00-8
ISSN 2342-933X

SISÄLLYS

JOHDANTO	4
1. OLEMASSA OLEVIA TEKNIIKOITA	5
1.1 Esineiden internet	5
1.2 Pilvipalvelut	7
1.3 Tietoturva IoT-ympäristöissä	8
1.4 Kehityssarjat	9
1.5 Yhden piirin järjestelmät	10
2. TULEVAT TEKNIIKAT	12
2.1 Esineiden internetin tulevaisuuden sovelluksia	14
2.2 Visioita esineiden internetin tarjoamista mahdollisuuksista ajoneuvoissa	16
3. TESTAUKSET JA DEMOT	16
3.1 Espruino Pico (IoT-kehityspiiri)	17
3.2 Intel Compute Stick (SoC-laite)	20
3.3 Thingsee One (IoT-laite)	22
3.4 Käytännön sovellettavuustestaus	25
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	27

LÄHTEET

LIITE 1 Kehityssarjoja ja -alustoja keskeisine ominaisuuksineen

LIITE 2 Markkinoilla olevia yhden piirin laitteita

JOHDANTO

Tässä selvityksessä tutustutaan Internet of Things (IoT) – esineiden internetin – laitteisiin, sovelluksiin ja mahdollisuuksiin. Esineiden internet, jota kutsutaan myös asioiden internetiksi tai teolliseksi internetiksi, mahdollistaa tiedon keruun, analysoinnin ja hyödyntämisen yhdistämällä laitteet, järjestelmät ja ihmiset langattomasti käyttäen uusia sensori- ja yhteysteknologioita. Esineiden internetissä laitteet keräävät tietoa reaaliaikaisesti ja järjestelmät voivat analysoida sitä ihmisen toiminnan tueksi. Lisäksi esineiden internet mahdollistaa laitteiden etäohjauksen. Perinteinen yhteysmalli [1] on ollut niin sanotut suljetut ympäristöt, joissa tiedon sijainti ja käsittely ovat tiedossa. Esineiden internet sen sijaan yhdistää kaikki laitteet ja ihmiset pilvipalvelujen avulla yhteen siten, että tarvittava tieto on saatavilla ajasta ja paikasta riippumatta. Tässä selvityksessä haetaan ymmärrystä ja näkökulmia IoT-ratkaisujen käyttömahdollisuuksiin erityisesti ajoneuvojen ja liikenneratkaisujen mittaussympäristöissä erilaisissa sää- ja käyttöolosuhteissa. Suomen talvisissa olosuhteissa mielenkiinto kohdistuu sensoritekniikan luotettavuuteen ja toimivuuteen sekä sen tarjoamiin mahdollisuuksiin, erityisesti EVGA-hankkeen sähköisen liikenteen ekosysteemissä. Tarkastelun kohteena ovat myös IoT-järjestelmien tietoturva, sovellettavuus ja tulevaisuuden laitteiden kehityssuunnat.

Selvityksen alussa tehdään katsaus markkinoilla kirjoitushetkellä tarjolla oleviin yhden piirin järjestelmiin ja IoT-kehitysympäristöjen soveltuvuuteen osaksi tulevaisuuden mittauslaitteistoja. Luvussa 1 käsitellään esineiden internetin osia ja toimintaa, pilvipalveluja sekä tietoturvaan liittyviä näkökulmia. Lisäksi tarkastellaan markkinoilla olevia MikroPC- ja IoT-komponentteja muutamien esimerkkien kautta. Luvussa 2 tutustutaan tuleviin IoT-tekniologioihin, joita maailmalla on kehitteillä ja esitetään muutamia tulevaisuuden visioita esineiden internetin ja liikenteen yhdistyessä. Luku 3 keskittyy Centrialla tehtyihin laitetestauksiin ja – demoihin ja havaintoihimme, jotka suoritettiin muutamalla markkinoilta löytyvällä IoT-laitteella. Testien ja demojen tarkoituksena oli tutkia laitteiden tämän hetkistä soveltuvuutta osaksi esim. EVGA-hankkeessa kehitettyä mittauslaitetekonaisuutta. Selvityksen lopuksi luvussa 4 esitetään yhteenveto ja johtopäätökset aiheesta. Selvityksen lopussa liitetiedoista löytää kaikki käyttämämme lähteet. Liite 1 sisältää yhteenvedon erilaisista IoT-kehityssarjoista ja -alustoista keskeisine ominaisuuksineen. Liite 2 sisältää lyhyen katsauksen markkinoilla oleviin yhden piirin laitteisiin.

1. OLEMASSA OLEVIA TEKNIIKOITA, μ PC JA YHDEN PIIRIN JÄRJESTELMÄT

Viime vuosien aikana erilaiset tietotekniset laitteet ovat kehittyneet nopeasti ja samaan aikaan tekniikat ja teknologiat ovat kehittyessään mahdollistaneet yhä pienempiä fyysisiä kokojen. Samanaikaisesti markkinoille on tullut myös uusia innovaatioita vastaamaan kuluttajien ja teollisuuden tarpeita. Monissa kuluttajien hankkimissa laitteissa on jo paljon erilaisia yhteys- ja sensoriteknologioita, jotka mahdollistavat laitteen toiminnan osana esineiden internetiä. Kehitys näkyy mm. älypuhelimissa, joihin lisätään erilaisia ominaisuuksia ja sensoreita itse laitteen fyysisen koon pysyessä edelleen suhteellisen pienenä. Trendi jatkuu yhä ja nykyisin on jo kuluttajien saatavilla normaalin PC:n toiminnolla varustettuja MikroPC:itä (μ PC) tai niin sanottuja yhden piirin järjestelmiä, joissa kaikki tarvittavat komponentit ovat kompaktisti yhdellä piirilevyllä (kuva 1). Fyysisen koon pienentyessä μ PC kapasiteetti ja suorituskyky jäävät vielä toistaiseksi jälkeen perinteisten tietokoneiden tasosta.



Kuva 1. Intel Compute Stick on kokonainen tietokone pienessä paketissa.

1.1 Esineiden internet, IoT

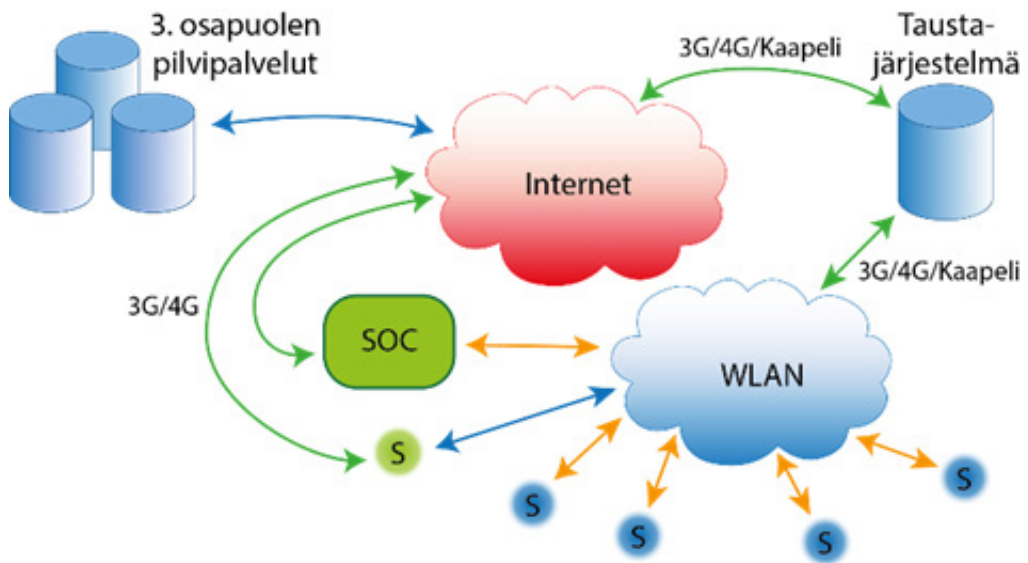
IoT eli esineiden internet on lyhyesti kokonaisuus, jossa jokainen laite on yksilöitävissä ja laitteet ovat yhteydessä internetiin, minkä lisäksi laitteet reagoivat ympäristön muutoksiin. Esineiden internet on tällä hetkellä voimakkaasti kasvussa, jonka vuoksi erilaiset liiketoimintamahdollisuudet ovat laajat ja IoT:n ympärillä liikkuu suuria summia rahaa. [2]. Esineiden internet on ihmisten ja esineiden tai sovellusten välisen kommunikoinnin laajennus uusien ratkaisujen kautta. Teknologisesti tarkasteltuna esineiden Internet on ollut mahdollista toteuttaa jo useita vuosia. Kiinteillä tai langattomilla internet yhteydellä toisiinsa liitetyt laitteet ja esineet ovat pystyneet verkon välityksellä jakamaan havaintojaan ympäristöstään ihmisten tai suoraan toisten laitteiden kanssa. Piiri- ja viestintäteknologian jatkuva kehitys on mahdollistanut

sen, että internettiin liittyvät laitteet voivat nykyään olla melkein päätäntävoimaisia vain pienistä mittausantureista ja kodin kulutuselektronikkalaitteista aina vaativiin teollisuudessa käytettäviin työkaluun asti. Piirien laskentatehon kasvu ja samanaikainen fyysisen koon pieneneminen on mahdollistanut uusien laskenta-algoritmien käyttöönoton datan käsittelyssä erittäin pienissäkin laitteissa. Kasvavan tiedonsiirtokapasiteetin myötä suurten datamäärien kerääminen ja jalostaminen käytettävään muotoon tuottaa suurempaa hyötyä tuotanto- ja liiketoiminnalle. Tiedon siirtoon käytetään yleensä langattoman viestintäteknikan laitteita ja järjestelmiä, kuten RFID, Wi-Fi, 3G ym. pohjaiset järjestelmät. Langaton viestintä onkin eräs tärkeimmistä tekijöistä esineiden internetin tulevaisuuden kasvussa ja yleistymisessä. Mahdollisia haasteita ja jopa ongelmia esineiden Internetin ratkaisuille aiheuttavat langattomien verkkojen tietoturva ja laitteistojen toimintaan vaadittavan virran tarve. [3]

Yrityksille IoT tarjoaa mahdollisuuksia saada tietoja eri prosesseista lähes reaaliaikaisesti. Ne voivat olla jatkojalostettuja tietoja prosessien toiminta-asteista tai -tiloista tai erilaisia tunnuslukuja, joiden pohjalta voidaan mm. tehdä päätöksiä, tehostaa toimintaa, parantaa palveluita tai ennakoita tulevaa. Keskeistä näiden tarvittavien tietojen keräämisessä on saada oikeat mitaukset tarpeeksi tiheästi, tiedon nopea ja oikeanlainen käsittely sekä tiedon välitys oikeaan paikkaan jatkojalostettavaksi. Itse mittauslaitteen laitteistovaatimukset riippuvat mitattavista suureista, tarkasteltavista lähteestä sekä mitattavan suureen muutosnopeudesta. Nopeasti vaihtuvissa mittauksissa esim. ajoneuvoissa, laitteiston tulee kyetä tekemään paljon mittauksia lyhyessä ajassa ja mahdollisesti käsittelemään ja välittämään eteenpäin oleellinen mittaus-tieto.

Teollisuuden mittausten pääasiallinen tarkoitus on alkujaan ollut keskeisten ja kriittisten suureiden tarkkailu: koneiden ja laitteiden tulee toimia halutusti ja työntekijän pystyä reagoimaan eri ongelmatilanteisiin ennakkoiden ennen kuin suurempaa vahinkoa tulee. Toimintojen automatisointi on ollut myös keskeinen kehityksen kohde. Automatisaation lisääntyessä inhimillisten virheiden mahdollisuus pienenee ja virheiden seurauksien reagointiin kuluva aika lyhentyy, kun mittaustuloksien tai -tilojen pohjalta voidaan ohjata toimintaa tehokkaammin. Automatisaatio vaatii päätöksenteon tueksi älykkäitä laitteistoja, jolloin kuvaan astuvat erilaiset mikrokontrolleritoteutukset ja logiikkapiirit. Laitteiden sisäisissä komponenttien välisissä kommunikoinneissa erilaiset välälätekniikat ovat käytännöllisin ratkaisu. Tekniikan kehittyessä väylien rinnalle ovat tulleet mm. WLAN-yhteysmuodot ja nykyisin myös 3G ja 4G langattomat tiedonsiirtoverkot pidemmille siirtoväleille. Tarve suurien tietomäärien siirrolle on osaltaan vaikuttanut tiedonsiirtonopeuksien kasvamiseen. Nykyisin langattomat yhteydet mahdollistavat yhä suuremman tietomäärän siirtämisen taustajärjestelmiin jatkokäsittelyä varten. Lähes reaaliaikaisella tiedonkäsittelyllä saadaan vähennettyä taustajärjestelmään tallennettavan tiedon määrää. Välittömän tiedonkäsittelyn myötä reagointi-aika erilaisiin tilanteisiin lyhenee ja mahdollistaa osaltaan automatisoinnin, etäluennan ja älykkyyden lisääntymistä.

IoT mahdollistaa mittauksien kannalta suuren määrän erilaisia toteutuksia, joissa vain mielikuvitus on rajana. Yhdellä internetiin yhteydessä olevalla tiedonsiirtoverkon solmulaitteella voi olla useampia mittausyksiköitä, joiden kommunikoinnin taustajärjestelmän kanssa laite hoitaa. Koska mittauksia tekevällä laitteella on käytettävissä rajallisesti prosessointiaikaa mittaustuloksen käsittelemiselle, voidaan jo solmulaitteen ohjelmistossa toteuttaa alustavia tiedon jatkokäsittelyitä. Yleensä kuitenkin taustajärjestelmä on se paikka, jossa raskaammat laskennat on optimaalisinta toteuttaa. Vaiheittaisella tiedonkäsittelyllä voidaan vähentää tiedonsiirtotarvetta huomattavasti, mikäli mittausyksikkö tuottaa paljon sellaisia tuloksia, joiden prosessointi ei ole lopputuloksen kannalta tarkoituksellista. (kuva 2)



Kuva 2. Internet of Things ympäristöjen erilaiset palvelu ja tiedonsiirto vaihtoehdot

IoT käsittää myös laitteiden ja koneiden väliset kommunikoinnit (Machine to Machine, M2M), jolloin laite välittää mittaustulokset toiselle verkon laitteelle. Mittausyksikön omien mittausten lisäksi voidaan ottaa huomioon toisaalla tehtyjä mittauksia, jotka vaikuttavat siihen, kuinka mittaustuloksia tulee tulkitä. Esimerkiksi historiatiedon perusteella voidaan päätellä, että tiettyjen mittaustulosten ylittäessä määritellyt raja-arvot, tulee myös kriittinen parametri nousemaan viiveellä yli turvallisuusrajan. Mikäli raja-arvo ylittyy ja ennakoivia varoitoimenpiteitä ei suoriteta riittävän ajoissa, seurauksena voi olla esimerkiksi tuotantolinjan alasajo. Kerätty ja prosessoitu data auttaa siis ihmistä päätöksenteossa. M2M-kommunikointi mahdollisimman viiveettömästi takaa parhaan reagoitajan. M2M-kommunikointi ja viestintä kasvavat kaikilla teollisuuden aloilla. Esimerkkejä M2M-ratkaisujen IoT mahdollisuuksista ovat mm. kuljetusautojen lämpötilan ja kosteuden valvonta ja ohjaus etätoimintona, tai älykäs etämittaus esim. sähkömittareiden etäluenta tai kannettavat EKG-laitteet, tai rakennusten ilmastoinnin etäsäätö, tai lääkepurkki, joka muistuttaa käyttäjää ja valvoo lääkkeiden ottamista, tai kodinkone, joka ilmoittaa, jos se tarvitsee ylläpitoa tai huoltoa.

1.2 Pilvipalvelut

Pilvipalvelut ovat internetissä tarjottavia datan tallennuspalveluita. Käyttäjälle tämä näyttäyty paikallisen sovelluksen tapaan, mutta todellisuudessa pilvipalvelu voi koostua useammasta eri palvelusta useilla eri palvelimilla. Keskeisenä pilvipalveluissa on se, että tieto tallennetaan pääasiassa pilveen päätelaitteen sijaan. Päätelaitteella on vain se tieto, mitä kulloinkin tarvitaan. "Pilvi" tarkoittaa tässä tapauksessa palvelutarjoajien datakeskuksista muodostuvaa palvelinten verkkoa, missä tieto liikkuu nopeasti ja varmuuskopioituu jatkuvasti.

Pilvipalveluissa on kolme päätyyppiä: SaaS (Software as a Service), PaaS (Platform as a Service) sekä IaaS (Infrastructure as a Service). Pilvipalvelut voidaan jakaa myös saavutettavuuden mukaan ryhmiin: yksityisiin palveluihin, julkisiin palveluihin ja näiden yhdistelmiin, hybridipalveluihin. Yksityispilvipalvelut sijaitsevat yleensä suljetussa verkossa, johon ulkopuolisilla ei ole käytännön mahdollisuutta liittyä. Julkiset palvelut ovat yleisesti internetissä saatavia ja hybridi-

dipalvelut sisältävät molempien kategorioiden mukaisia palveluita. [4]

SaaS-tyypin palveluilla tarkoitetaan pilvessä olevaa ohjelmistoa tai tietokantaa. Palveluntarjoaja hallinnoi palvelun rakennetta ja alustoja, joilla ohjelmistoa tarjotaan. Käyttäjällä ei ole mahdollisuutta vaikuttaa palvelun rakenteeseen tai alustoihin. SaaS mahdollistaa kustannustehokkaan ratkaisumallin ohjelmistojen tarjoamiseen ja samalla käyttäjät voivat olla varmoja siitä, että käytettävä ohjelmisto on ajantasainen.

PaaS-tyypin palvelut mahdollistavat ohjelmisto- ja laitetason sisältävän kehitysympäristön sovelluskehittäjille. PaaS:n avulla voidaan kehittää nopeasti web-ohjelmistoja ja, riippuen palveluntarjoajasta, saadaan mahdollisuus vaikuttaa virtuaalikoneen käyttöjärjestelmäasetuksiin. Palvelun avulla kehitystyö ei ole paikkaan sidonnainen ja se tarjoaa joustavan kehitysympäristön, kun kaikki tarvittavat tiedot ja asetukset ovat palveluntarjoajalla tallessa. [5]

IaaS-tyypin palvelut tarjoavat käyttäjälle laajimman palvelutason. Käyttäjä voi hallinnoida virtuaalipalvelinympäristöä aina verkkoyhteyksistä ja laitetasosta lähtien. Riippuen palveluntarjoajasta, palvelin skaalautuu kuormituksen mukaan ja takaa näin palvelun käyttäjän omien palvelujen luotettavan toiminnan. Myös tiedon tallennus ja hallinnointi sekä tietokantapalvelut ovat mahdollisia. [6]

1.3 Tietoturva IoT-ympäristöissä

IoT-ympäristöissä laitteet ovat alttiina tietoturvahille internetyhteyden vuoksi. Vaarana voi olla tiedon urkinta tai haittaohjelmat ja jopa verkon sabotointi. Tiedon urkinnalle voidaan altistaa, mikäli tietoa lähetetään palvelimelle, mutta verkkoon on tunkeutunut laite, jonka kautta tieto kulkee. Tämä laite "teeskentelee" olevansa kohdepalvelin ja on yhteydessä oikeaan palvelimeen. Tällöin verkkoon päässeellä laitteella on käytettävissä kaikki se tieto, joka kulkee kyseisen palvelimen kautta ja mahdollisuus myös manipuloida siirrettävää dataa. Tämän kaltaista tiedon urkintaa vastaan voidaan varautua salaamalla lähetettävä tieto tai hyödyntämällä TLS-yhteyttä (Transport Layer Security), jossa laite ja palvelin tunnistavat toisensa sertifikaatteja hyödyntäen ja sopivat käytettävästä salausalgoritmista istunnon ajaksi.

Haittaohjelmien pääsy IoT-ympäristöön on mahdollista, jos jossain kohdassa verkkoa on tietoturva-aukko. Tämä aukko voi olla esimerkiksi ohjelmistovirhe, puutteellinen ohjelmistopäivitys, virheelliset verkkoyhteyksiasetukset, puutteelliset tietoturvaohjelmistot tai heikko salaus. Haittaohjelmat mahdollistavat takaoven, tai takaportin, jonka kautta pystytään operoimaan. Tällöin verkossa liikkuvaa dataa voidaan mahdollisesti manipuloida tai lähettää virheellisiä sanomia verkossa ja näin sabotoida tai ottaa haltuun verkon laitteita. Haittaohjelmien kautta verkkoa voidaan kuormittaa niin, että haluttu tieto ei liiku tai järjestelmä jopa kaatuu. Palvelunestohyökkäyksessä ulkopuolinen kuormittaa palvelinta estäen sen toiminnan jopa kokonaan.

Se, minkälaisesta laitteesta on kyse ja mikä sen rooli on verkossa, vaikuttaa oleellisesti myös siihen millaisia tietoturvaominaisuuksia siinä on. Esimerkiksi kehitysalustoissa ei todennäköisesti ole mahdollisuutta asentaa tietoturvaohjelmistoja tai vaikuttaa yksityiskohtaisesti verkkoasetuksiin, jolloin jäljelle jää ainoastaan mahdollisuus tarkastaa syötteet. Verkossa eri solmulaitteiden ja niiden kanssa kommunikoivien mittauslaitteiden tunnistukset tulee toteuttaa puolin ja toisin luotetusti tilanteeseen käytettävissä olevia tekniikoita hyödyntäen. Vastaavasti solmulaitteiden ja taustajärjestelmän yhteydenmuodostus tulee toteuttaa luotettavasti, jotta järjestelmä olisi suojattu internetin uhilta mahdollisimman hyvin.

1.4 Kehityssarjat ja -alustat

Tuotekehitykseen ja tuotteiden ja palveluiden kehittämistyöhön on yleisesti saatavilla erilaisia kehityssarjoja, joiden avulla on mahdollista toteuttaa ja testata laitteistoja erilaisilla sovelluksilla kustannustehokkaasti ennen mahdollista laajempaa käyttöönottoa tai massatuotantoa. Kehityssarjat tai -alustat ovat valmiita piirilevyjä komponentteineen, joiden mikrokontrollerit voidaan ohjelmoida tapauskohtaisesti. Kehityssarjat tukevat erilaisia ulkoisia liitäntöjä, joiden avulla voidaan esimerkiksi kysellä ja lukea erilaisten sensoreiden tietoja tai kommunikoida toisten mikrokontrollereiden kanssa. Kehityssarjat sisältävät usein tiedonsiirtokanavan, esimerkiksi USB-liitännän. Markkinoilta löytyy laaja kirjo erilaisia kehitysympäristöjä, joista tässä selvityksessä käsiteltävien esimerkkien lisäksi liitteeseen 1 on koottu muutamia kehityssarjoja ja -alustoja keskeisine ominaisuuksineen. Useimpiin kehitysalustoihin on saatavilla monenlaisia moduuleja, joita käyttämällä laitteiden liitettävyyttä tai niiden yhteysvaihtoehtoja voidaan lisätä. Kehityssarjoissa käytetyt sensorit ovat usein omina moduuleinaan. Mikäli piirilevyllä ei ole valmiiksi langatonta tiedonsiirtokanavaa, voidaan sellainen siihen liittää joko omana moduulinaan tai kytkeä suoraan piirilevyn jälkikäteen.

ARM®mbed™

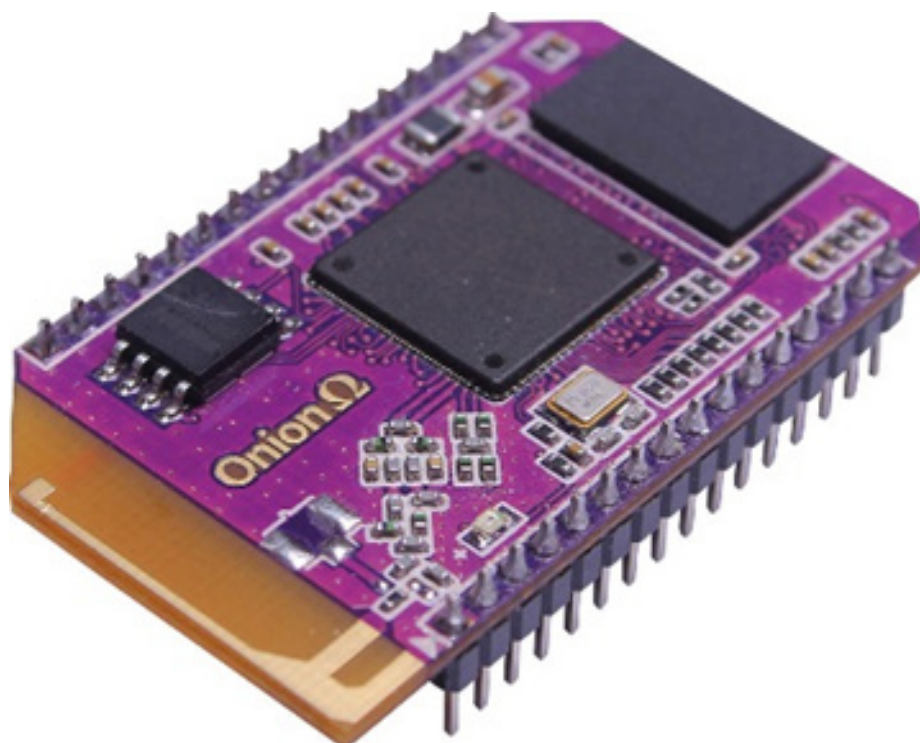
ARM®mbed™ on yhteisö IoT-ratkaisujen luomiselle. Se yhdistää IoT-komponentteja valmistavat tahot, niiden käyttäjät ja palvelujen tuottajat. ARM®mbed™ sisältää 130 000 kehittäjän yhteisön, käyttäjärjestelmän, laitepalvelimen, laitteiden yhdistämispalvelun, salauksen ja asiakasohjelmiston. Verkkosivuilta löytyy kattava lista eri valmistajien yhteensopivista IoT kehityspiireistä ja komponenteista, joilla järjestelmän voi toteuttaa. [7]

Waspmote

Libeliumin Waspmote on kehitysalusta, joka mahdollistaa yli sadan erilaisen sensorimoduulin käytön ja 17 eri radioyhteyttä eri toimintasäteillä Bluetooth 4.0:sta 3G:n. Sen voi ohjelmoida langattomasti ja se sisältää myös joitakin teollisia protokollia, kuten RS-232 ja CAN-väylän. [8]

Onion Omega

Onion on Kickstarter-yritys ja heidän avoimen lähdekoodin kehitysalusta Onion Omega käyttää täyttä Linuxia ja tukee suurinta osaa yleisistä ohjelmointikielistä, kuten Python ja PHP. Se on kooltaan hyvin pieni, vain 28 x 42 mm. Laitteen 802.11-yhteys mahdollistaa yhdistämisen verkkoon ilman lisämoduuleja. Omegaan voi hankkia myös telakan, joka mahdollistaa erilaisten liittimien ja lisälaitteiden käytön. Telakassa on muun muassa USB-liitäntä, virtalähde ja näppäimiä. Lisäksi laitteeseen saa erilaisia laajennusmoduuleja, kuten Ethernet- tai OLED-laajennuksen, joita voidaan koota telakkaan päällekkäin. Onion tarjoaa myös laitteistosta riippumattomia pilvipalveluita ja Onion Console -virtuaalisen työpöydän laitteiden etähallintaan. Yrityksen verkkosivuilla kerrotaan että laite on tuotanto- ja lähetysvaiheessa, joten viivettä saattaa tilausten kohdalla esiintyä. [9]



Kuva 3. Onion Omega -kehitysalusta. (Onion Corporation 2015, [9])

1.5 Yhden piirin järjestelmät

Kehitysalustojen lisäksi viime vuosina on tullut myös yleisesti saataville yhä enemmän yhden piirin järjestelmälaitteita (System on a Chip, SoC), joissa on käytettävissä samoja käyttöjärjestelmiä kuin normaaleissa tietokoneissakin. Nämä vain hieman USB-tikkua suuremmat laitteet mahdollistavat kaikki samat toiminnot kuin perinteinen tietokone. Vaikka SoC-laitteiden suorituskyky on keskivertotietokonetta heikompi, on olemassa paljon sovelluskohteita joissa SoC-laitteiden käyttäminen on mielekästä juuri niiden kompaktin koon vuoksi. SoC-laitteet soveltuvat hyvin mittausverkon solmupistelaiteeksi, koska ne mahdollistavat muun muassa erilaiset tiedonsiirtotekniikat ja laitteiden välisen kommunikoinnin, mittalaitteiden kytkettävyyden, ohjelmistotason sovellettavuuden, sekä raakadatan reaaliaikaisen käsittelyn ja poikkeustietojen välityksen. SoC-laitteiden avulla ylläpito pystyy taustajärjestelmän kautta tapahtuvan ylläpidon lisäksi olemaan suoraan yhteydessä laitteeseen. Seuraavaksi hieman tarkemmin käsiteltävien esimerkkilaitteiden lisäksi selvityksen liitteessä 2 on listattuna muutamia markkinoilla olevia SoC-laitteita keskeisillä ominaisuuksilla.

Raspberry Pi Zero

Raspberry Pi on yhden piirin järjestelmästä ehkä tunnetuin ja lähinnä tavallista kuluttajaa. Sen ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2012 ja sittemmin siitä on tullut myydyin brittiläinen tietokone yli viiden miljoonan laitteen myynneillä. [10] Laitteen kolmas ja uusin versio Raspberry Pi Zero (kuva 4) julkaistiin marraskuussa 2015 ja sen hinta ei päästä huimaa. Laitteen saa omakseen viidellä dollarilla tai Raspberryn oman Magpi-lehden aihetta käsittelevän numeron

mukana ilmaiseksi. Aikaisemmat laiteversiot ovat olleet hinnaltaan noin 20–35 dollaria. Laite on pieni, mitoiltaan vain 65mm x 30mm x 5mm, mutta se sisältää paljon tekniikkaa ja käyttää Rasbian-käyttöjärjestelmää. [11]



Kuva 4. Raspberry Pi Zero on pieni uutuus. (The Magpi 2015, [12])

Remix Mini

Remix Mini (kuva 5) on Jide Techin kickstarter-kampanjan tuottama pieni PC-laite, joka käyttää Android Lollipop - Remix OS -käyttöjärjestelmää. Laitteen luvataan käynnistyvän muutamissa sekunneissa kosketuskytkimestä laitteen päällä ja se toimii tavallisen tietokoneen kanssa. Laite sisältää Ethernet-, Bluetooth 4-, Wi-Fi- - yhteydet ja USB liitännät. Virran kulutus laitteella on minimaalinen 10 wattia. Remixiä, kuten monia muitakin yhden piirin järjestelmiä, markkinoidaan kodin mediakeskukseksi, mutta sillä on varmasti käyttömahdollisuuksia myös IoT-järjestelmän osana. Laite on uusi, jota on vasta viime päivinä alettu toimittaa kickstarter-tukijoille, joten ohjelmistot kehittynevät lähiaikoina. [13]



Kuva 5. Remix Mini on kooltaan pieni, vain 12,5 x 9 cm, Android-tietokone. (Kickstarter 2015, [13])

2. TULEVAT TEKNIIKAT

Siemens on julkaissut vuoden 2014 lokakuussa IoT-ennusteen tähänastisen kehityksen perusteella. Ennusteessa kerrotaan, että maailmanlaajuisesti vuonna 2010 datan määrä oli 1 227 exatavuuta (1 227 miljardia gigatavuuta). Vuonna 2020 datan määrän ennustetaan kasvavan verkkoon yhteydessä olevien laitteiden määrän räjähdysmäisen kasvun vuoksi 40 026 exatavuun eli 10 vuoden aikana datan määrä kasvaa 40-kertaiseksi. Verkossa olevista laitteista lähes puolet on tuossa vaiheessa muita kuin tietokoneita tai matkapuhelimia. Vuoteen 2012 mennessä datan määrä oli kasvanut 2 837 exatavuun ja 2015 vuoden loppuun mennessä on arvioitu datan määrän kasvavan 8 591 exatavuun. Siirrettävän tiedon määrän kasvaessa myös tarve tiedon käsittelylle tulee yhä keskeisemmäksi. [14.]

Esineiden internet tulee asettamaan erityisiä vaatimuksia tiedonsiirtoverkoille. Kun siirretyn datan määrä kasvaa räjähdysmäisesti, ei nykyiset teknologiat ja niiden nopeudet enää riitä. 5G:ltä odotetaan lyhyitä vasteaikoja ja suuria tiedonsiirtokapasiteetteja. Lisäksi IoT-sovellukset vaativat verkolta toimintavarmuutta ja luotettavuutta. [15] Nokia Networks arvioi, että internetiin yhteydessä olevien laitteiden määrä kymmenkertaistuu tai jopa satakertaistuu lähiaikoina. Nokia arvioi tietoturvariskien kasvavan tämän kehityksen myötä, mutta uskoo että nopealla reagoinnilla verkko pystytään pitämään puhtaana. [16] Toinen esineiden internetin toimintaan vaikuttava asia on laitteiden virransaanti. Esimerkiksi Eriksson työskentelee energiaa säästävien teknologioiden parissa, pyrkien jatkamaan pariston kestoa jopa kymmeneen vuoteen. Tällaiseen paristonkestoon päästään tuottamalla laitteita, jotka ovat niin sanotussa "deep sleep" -tilassa, josta ne heräävät tarvittaessa nopeasti. Lisäksi työtä tehdään muun muassa aurinkoenergiaratkaisujen parissa. [17] Ajoneuvoihin liittyvissä sovelluksissa datan nopea siirto ja yhteyksien katkeamattomuus ovat elintärkeitä ominaisuuksia. Esimerkiksi liikenneturvallisuuteen ja älyliikenteeseen liittyvät ratkaisut, jotka toimittavat kuljettajalle reaaliaikaista

tietoa muuttuvista liikennetilanteista, vaativat erityisen luotettavan ja nopean yhteyden.

Koska IoT-laitteet ovat pieniä, niiden virransaantiin vaadittavat akut ja laturit ovat aivan erityisen kehitystarpeen edessä. Energiaa voidaan kerätä muun muassa mekaanisista lähteistä (täri-nä), lämmönlähteistä, säteilystä (aurinko, infrapuna ym.) tai biokemiallisista lähteistä. Laitteet vaativat kuitenkin uudenlaisia innovaatioita ja nanoteknologian sovelluksia, kuten superketeitä, pysyäkseen kooltaan riittävän pieninä. Nykyinen paristoteknologia ei pysty vastaamaan laitteiden vaatimuksiin, joten ymmärrettävästi valmistajat tekevät runsaasti tutkimus- ja kehitystyötä varsinkin ladattavien paristojen ympärillä. Yksi mahdollinen vaihtoehto on 3D-tulostettu ladattava sinkkiparisto, joka voi olla käytännössä minkä muotoinen tahansa ja ei tarvitse paksua eristettä ympärilleen. 3D-tulosteen ongelmana on toistaiseksi vielä se, ettei se kestä yli 40 asteen lämpötiloja. [18] Ajoneuvoympäristössä paristojen toimintakyky joutuu sisätiloja kovemmalle koetukselle, sillä parkissa olevan auton sisälämpötila saattaa nousta kesällä todella korkeaksi ja Suomen talviolosuhteissa on hyvinkin tavallista että auto on useita tunteja kylmänä.

Esineiden internetin laiteratkaisut ovat jo hyvinkin kehittyneitä, mutta tulevaisuudessa keskittyneen erityisesti käyttäjärajapintoihin ja siihen, miten käyttäjä saa suurimman hyödyn verkkoon liitettyistä laitteista. IoT mahdollistaa esimerkiksi sen, että yritykset voivat kerätä dataa esimerkiksi siitä, montako kertaa yrityksen nimi mainitaan sosiaalisessa mediassa. Lisäksi IoT-sovellukset mahdollistavat yritysdatan (big data) käsittelyn sellaiseen muotoon, jossa sekä yritys että sidosryhmät saavat siitä mahdollisimman suuren hyödyn. Käyttäjäraja-ajapinnoista on mahdollista analysoida joko yritystasolla tai kotitalouksissa laitteiden toimintaa ja huoltotarpeita, joka mahdollistaa säästöjä sekä energiankulutuksessa että laitehankinnoissa. Laitteiden tarjoaman tiedon perusteella konfigurointi tai korjaavat toimenpiteet voivat tapahtua joko automaattisesti tai käyttäjän toimesta, riippuen tilanteesta. IoT mahdollistaa myös kodin turvajärjestelyitä videovalvontoineen. [19]

Kickstarter-verkkosivustolla aloittelevat yritykset hakevat toiminnalleen ja innovaatioilleen yksityistä rahoitusta. Tarkastelimme sivulla käynnissä olevia IoT-projekteja, jotka hakevat rahoitusta sekä projekteja, joiden rahoitustavoite on täyttynyt. Onnistuneimpia projekteja tämän tarkastelun perusteella näyttäisivät olevan IoT kehitysalustat, joista osa on saavuttanut rahoitustavoitteensa moninkertaisena. Sekaan mahtuu myös muutamia ajoturvallisuuteen ja autojen tietoliikenteeseen liittyviä sovelluksia, mutta niiden suosio on ollut huomattavasti edellä mainittuja laimeampaa. [20]

Puettavat IoT-ratkaisut ovat toistaiseksi rajoittuneet vielä lähinnä älylaseihin, kuten Oculus Rift, Google Glass tai muut vastaavat, ja aktiivisuusrannekkeisiin ja eri valmistajien älykkäisiin nappeihin, joita kiinnitetään vaatteisiin. Laite- ja ohjelmistovalmistajat ovat kiinnostuneita kehittämään esimerkiksi terveyteen liittyvää puettavaa älykkyyttä. Esimerkiksi Nokia on vuosina 2013 ja 2014 järjestänyt Nokia Sensing XCHALLENGE -kilpailun, jossa on haettu uusia innovaatioita terveydenhoitoon ja diagnoosien tekoon [21]. Kilpailun kuuden voittajan joukossa on mukana kuitenkin vain kaksi puettavaa tuotetta ja yksi kehon sisälle sijoitettava sensori. Muita puettavia ratkaisuja ovat muun muassa Skully Systemsin moottoripyöräkypärä sokean kulman kameroineen ja HUD-näyttöineen [22] sekä Nixien kehittämä ranteessa kuljetettava kopterikamera [23].

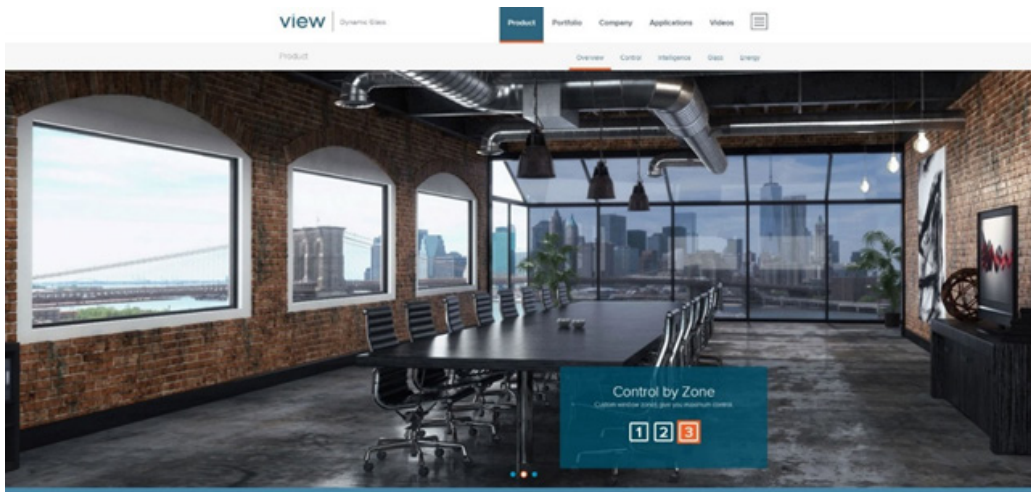
Suomalainen startup-tapahtuma Slush keskittyi teemoihin älykkäiden ympäristöjen ja teollisen internetin ympärillä. Lisäksi kiinnostuksen kohteena olivat muun muassa tietoverkkojen turvallisuus, digitaalinen terveydenhuolto, opiskeluteknologiat ja keinoäly sekä viihde. [24]

Forbes (2015) julkaisi Mattermarkin listaamat IoT startup-yrityksien huiput, joiden kärkipäästä voidaan tehdä jonkinlaista kartoitusta siitä, millaisia ratkaisuja on tulossa. Pilvipalvelujen ympärillä tehdään paljon työtä ja niiden sovelluksista tehdään tehokkaampia ja helpompia. Kuntoiluun ja terveyden tarkkailuun liittyviä sovelluksia (aktiivisuusrannekkeet) on jo jonkin verran markkinoilla, mutta vaikuttaisi siltä että niiden kehittäjiä on edelleen maailmalla startup-yrityksien joukossa. Älykkäät kaupungit ja niiden infrastruktuuriin liittyvät sovellukset ovat myös kehittäjien kohteena: sovelluksia kehitetään muun muassa lämmön- ja sähkönjakelun tarkkailuun ja säätöön sensoreiden ja etäyhteyksien avulla. Laitteista tulee koko ajan pienempiä, kun nanoteknologian mahdollisuuksia ja tulostettavaa älykkyyttä otetaan käyttöön. Samoin älykäs liikenne ja "connected cars" on monen yrityksen kehityskohteena, mutta tuotteista ei kerrota paljon. Usein ratkaisut liittyvät paikannukseen ja varkaudenestoon. [25] Seuraavaan on kerätty muutamia mielenkiintoisia sovelluksia, jotka ovat Forbesin julkaisemalla listalla.

2.1 Esineiden internetin tulevaisuuden sovelluksia

View – Dynamic Glass

View Inc. on amerikkalainen yritys, joka on kehittänyt ikkunalasin, jonka tummuutta säätämällä voidaan vähentää tilojen viilentämistarvetta auringonpaisteella ja samalla lisätä oleskelumukavuutta (kuva 6). Lasien tummuus on säädettävissä automaattisesti sensoritekniikan ja verkosta saatavien sääennusteiden avulla, mutta myös käyttöliittymän kautta, jos tilassa halutaan tummentaa ikkunoita esimerkiksi näytön tai valkokangasesityksen tarkastelun ajaksi. Käyttökohteina yrityksellä on ollut muun muassa toimistorakennuksia, lääkärikeskuksia ja kouluja. [26] Teknologian laajentaminen esimerkiksi autoteollisuuteen voisi olla mahdollinen, tilanteen mukaan itsestään säätyvä auton lasien sävy helpottaisi ajotilannetta ja näkyvyyttä. Tämän tyyliä ratkaisuja on nähtävissä jo ainakin autojen taustapeileissä. Koska tekniikka perustuu lasikerrosten välissä olevaan sähkökenttään, voisi ajatella että auton lasien sulana pitämistä ja huurtumisen estoakin voisi hoitaa vastaavanlaisella teknologialla.



Kuva 6. View-ikkunoita pystytään tummentamaan tarpeen mukaan. (View Inc. 2015, [26])

Alarm.com

Alarm.com tarjoaa mobiilisovelluksen kodin sensoreiden tarkkailuun. Kokonaisvaltaisella so-

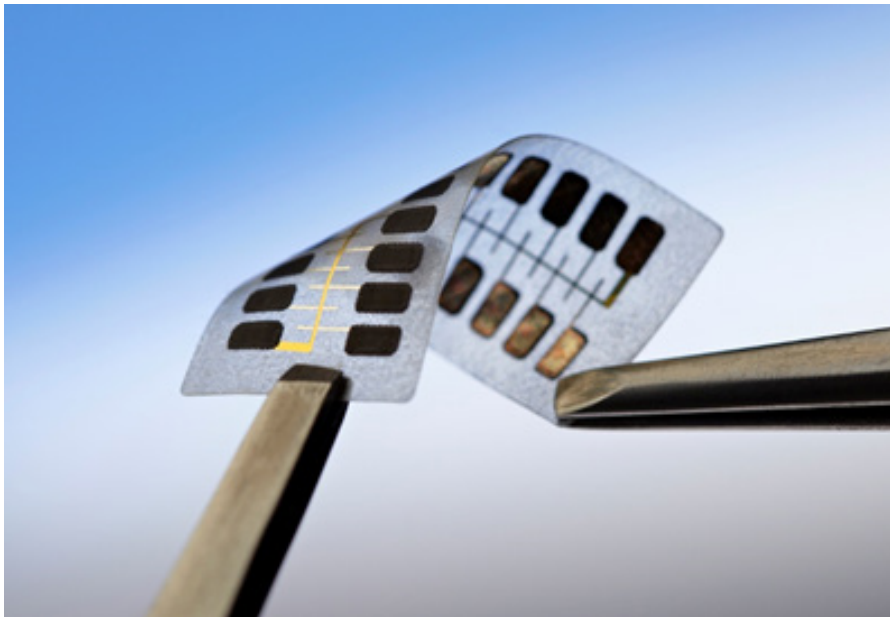
velluksella voidaan esimerkiksi tarkistaa kodin sähköisten lukkojen tila ja tarvittaessa lukita auki jääneet ovet. Samalla sovelluksella voidaan tarkkailla valvontakameroiden kuvaa ja kodin lämpötilaa ja valaistusta. Käyttäjä voi säätää lämmitystä ja sytyttää tai sammuttaa valoja. Sensorit lähettävät tarvittaessa hälytyksiä mobiilisovellukseen. [27] Alarm.com ei ole Mattermarkin listan ainoa tällaisia sovelluksia tarjoava yritys, vaan vastaavanlaisia sovelluksia on markkinoilla jo useita. Nykyautot mahdollistavat jo monia tämän kaltaisia palveluita, mutta todennäköisesti tulevaisuudessa ratkaisut laajenevat ja sovelluksista tulee monipuolisempia.

Movidius

Movidius on irlantilainen yritys, joka kehittää pienen virrankulutuksen sensoreita erityisesti koneelliseen näköön ja kameraratkaisuihin. Laitteista kehitetään koko ajan pienempiä, noin sormen kynnen kokoisia, jolloin niiden käyttömahdollisuudet laajenevat. Sensoreista voidaan tehdä osa älykästä vaatetusta tai niitä voidaan lisätä pieniin laitteisiin, kuten älylaseihin tai mobiililaitteisiin. Movidius tarjoaa myös Myriad 2 -kehitysalustaa, joka sisältää kameran ja integroitisarjan, jolla voidaan tuottaa erilaisia prototyyppejä. [28]

Thin Film Electronics

Thin Film kehittää tulostettua elektroniikkaa, kuten muisteja, sensoriteknologiaa ja näyttöjä (kuva 7). Sen tuotteisiin kuuluu muun muassa tulostettu päällekirjoitettava muisti. Yrityksen teknologia mahdollistaa tulostamisen joko rullalla olevalle kalvolle tai arkeille, jolloin tuotteista tulee tavallisia piirilevyjä kevyempiä, pienempiä ja edullisempia. Kertakäyttöisyyden mahdollistava teknologia mahdollistaa IoT-sovelluksille myös täysin uusia käyttökohteita esimerkiksi tuotteissa, joiden tulee olla pehmeitä ja taipuisia. Yrityksen visiossa nähdään esineiden internetin laajentuvan erityisesti edullisten ja hävitettävien elektronisten sovellusten suuntaan, mihin se tuotteillaan vastaa. [29]



Kuva 7. Kalvolle tulostettu elektroniikka kestää taivutusta. (Wired 2012, [30])

2.2 Visioita esineiden internetin tarjoamista mahdollisuuksista ajoneuvoissa

Suomalaiset sähköautojen käyttäjät ja autojen latausinfrastruktuurin ylläpitäjät saisivat todennäköisesti suurimman hyödyn esineiden internetin ratkaisuista, joissa auto lähettäisi akkunsu varauksen määrää, paikkatietoa ja navigaattorin kohdetietoja verkkoon. Palautteena autoon lähetettäisiin sen toimintasäteellä olevien latauspisteiden tiedot, niissä mahdollisesti kiinni olevien autojen lataustilanne ja mahdollisuus varata laturi määritellyn aikaikkunan sisällä. Esimerkiksi jos latauspiste on puolen tunnin ajomatkan päässä ja siinä kiinni olevassa autossa jäljellä olevaa latausaikaa on 20 minuuttia, latauspiste voisi ilmoittaa tilanteesta lähestyvälle autolle. Autot voisivat myös lähettää tilannetietoja latauksesta omistajalle, jolloin latauspisteen turha varaaminen vähentyisi. Latauspiste puolestaan voisi lähettää auton kautta viestin omistajalle, kun lataus on valmis ja toinen sähköauto on tehnyt varauksen lataukseen.

Kuljettajan kehoa tarkkailevat anturit (verenpaine, pulssi, verensokeri, silmien liike ym.) voivat etsiä väsymyksen merkkejä ja lähettää ne auton laitteistolle, jolloin auto voisi esimerkiksi säätää ilmastointia virkistävämmäksi tai suurentaa radion äänenvoimakkuutta. Tarvittaessa laitteisto voi jopa antaa herättävän äänimerkin kuljettajalle. Jos kuljettaja ei reagoi auton tekemiin piristystoimenpiteisiin esimerkiksi sairaskohtauksen vuoksi, voi laitteisto tarvittaessa lähettää hätäviestin.

Sensoridataa kerätään tietosuusilta ja jos esimerkiksi useista autoista saadaan pystysuuntainen kiihtyvyystieto samassa kohti tietä, voidaan olettaa että tiessä on kuoppa tai reikä joka aiheuttaa äkillisen tärähdyksen. Tämänlainen data auttaa tienpitäjiä ylläpitämään ja korjaamaan teitä.

Esineiden internet auttaa robottiautoja, mutta myös tavallista autonkuljettajaa löytämään tyhjän parkkiruudun parkkipaikalta tai -hallista. Auton sensorit tunnistavat automaattisesti, onko paikka maksullinen ja lähettää maksupyynnön mobiililaitteeseen, jolla maksun voi suorittaa. Lisäksi mobiililaitteella voi seurata maksullisen parkkiajan etenemistä ja mahdollistaa parkkimaksun lisäämisen etänä.

Kotona tehty sähköinen kauppalista ladataan pilveen, ja verkosta haetaan erilaisin hakuperustein ostospaikat. Hakuperusteena voi olla vaikka edullisimmat yksittäiset tuotteet tai ostospaikka, josta saa mahdollisimman monta ostoslistan tuotetta. Kun ostospaikka on määritetty, järjestelmä järjestää tuotteet listalla siihen järjestykseen, miten ne on sijoitettu kaupassa. Navigaattori lataa reitin ostoslistan mukaisiin asiointipaikkoihin, tarkistaa auton lataustilanteen tai polttoaineen määrän ja lisää tarpeellisen latauksen reitille. Ostospaikkaa lähestyttäessä järjestelmä etsii kaupan ovea lähinnä olevan tyhjän parkkiruudun ja asettaa kojelaudalla olevan parkkikiekon oikeaan aikaan tai muistuttaa parkkimaksun maksamisesta. Tankkauksessa tai sähköauton latauksessa käytetään sähköisiä tunnisteita tai biometriikkaa maksusuorituksen hyväksyntään. Järjestelmä osaa seurata käyttäjän mieltymyksiä ja jos käyttäjä toimii toistuvasti eri tavalla kuin se ehdottaa, se muuttaa jatkossa ohjeistuksia.

3. TESTAUKSET JA DEMOT

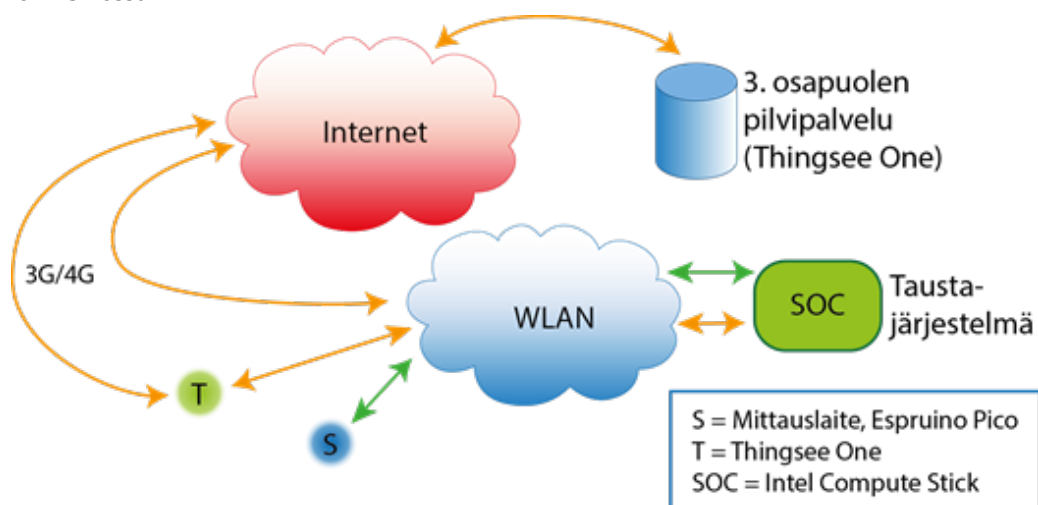
Käytännön sovellettavuustestauksiin hankittiin kolme eri laitekokonaisuutta, joiden sovellettavuutta tarkasteltiin IoT-näkökulmasta:

- Espruino Pico -kehityspiirilevy, johon hankittiin lisäksi laajennuspiiri, jonka avulla laite saa-

daan liitettyä langattomaan verkkoon ja siirrettyä toteutetut mittaukset taustajärjestelmään.

- Intel Compute Stick, joka on yhden piirin järjestelmä käyttöjärjestelmänään Windows 8.1. Laite voi olla joko mittalaitteiden ja taustajärjestelmän välinen solmulaite tai laite itsessään voi sisältää palvelimen toimintoja.
- Thingsee One, joka on valmis kokonaisuus mittausten osalta ja laitteen valmistaja tarjoaa rajapinnan, jonka kautta laitteen tietoja voidaan tarkastella.

Jokaisella laitteella on erilainen lähestymistapa tai sovellettavuussijainti IoT-verkkoympäristössä. Tämän vuoksi jokaiselle laitteelle toteutettiin käyttöönotto sekä yksi nämä laitteet koostava sovellusratkaisu. Kuvassa 8 on havainnollistettu näiden laitteiden sijainti toteutetussa IoT-verkossa.



Kuva 8. Sovellettavuustestausverkon vaihtoehtoiset tiedonsiirtovaihtoehdot, jossa SoC-laite toimii taustajärjestelmänä, joka antaa ohjauskäskyjä mittauslaitteelle molempien mittalaitteiden mittaustuloksien pohjalta sekä välittää Thingsee One:n tiedot pilvipalveluun.

3.1 Espruino Pico (IoT-kehityspiiri)

Ominaisuudet:

15 x 33 mm

22 pinniä

Arduino-yhteensopiva

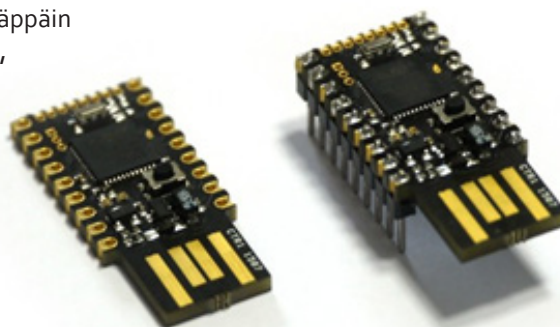
Kaksi sisäänrakennettua LED:iä ja yksi näppäin

STM32F401CDU6 CPU - ARM Cortex M4,

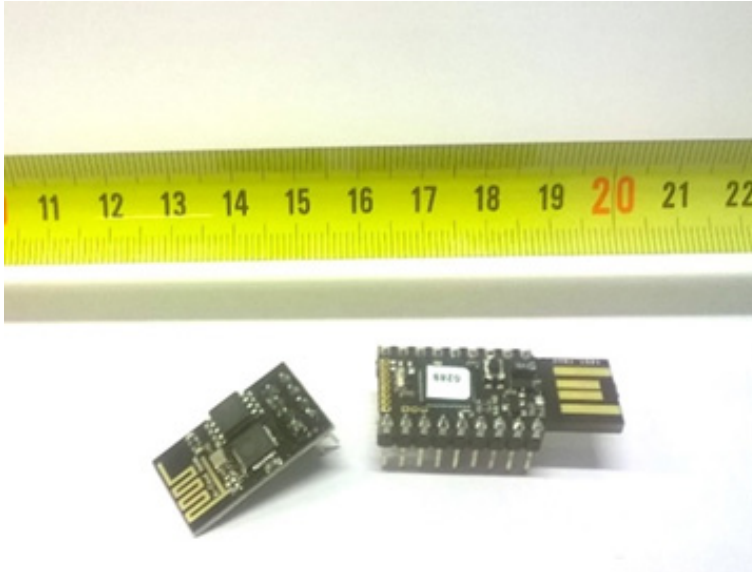
384kb flash, 96kb RAM

CE ja RoHS sertifioitu

(Pur3 Ltd 2015, [31])

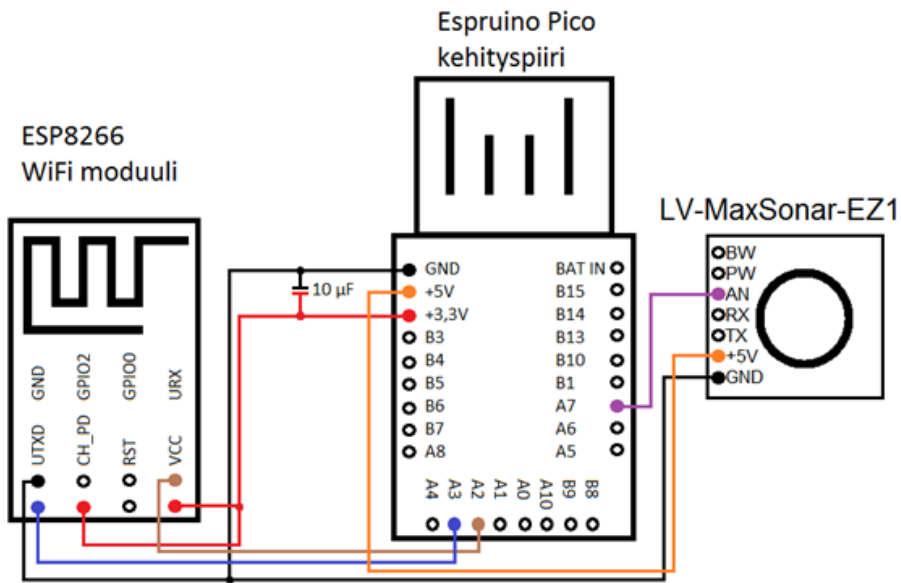


Internet of Things -kehityspiiriksi valittiin Espruino pico, joka nimensä mukaisesti on hyvin pieni, 15 x 33 mm (kuva 9). Espruino on suunniteltu hyvin vähällä virralla toimivaksi ja pienestä koostaan huolimatta siihen on mahdollista kytkeä monenlaisia sensoreita ja oheislaitteita. Laitteessa on yhteensä 22 pinniä erilaisilla ominaisuuksilla. Laitetoimittajan verkkosivustolla on saatavilla hyvin erilaisia esimerkkejä, dokumentaatioita sekä foorumi, jossa käyttäjät voivat jakaa tietoa tai kysyä neuvoa toisiltaan. Sivustolla on myös Quick Start -linkki, josta löytyy yleinen tieto siitä, kuinka Espruinolla pääsee alkuun.



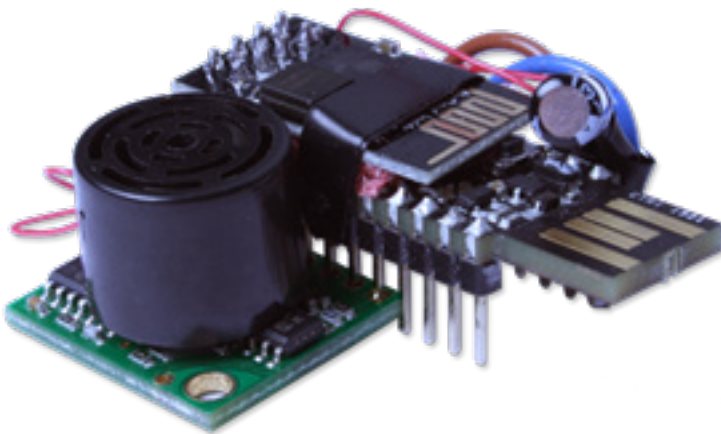
Kuva 9. Espruino Pico -kehityspiiri kuvassa oikealla. Vasemmalla ESP8266 Wi-Fi-moduuli langattomaan tiedonsiirtoon.

Ennen laitteen varsinaista käyttöönottoa Wi-Fi-moduuli tuli liittää Espruino Picoon. Laitetoimittajan verkkosivustolta löytyy tähän tarkoitukseen tarkat kytkentäohjeet (Pur3 Ltd 2015, [31]) kuva. Liitää varten on tarjolla myös erillinen piirilevy, jota tässä tapauksessa ei käytetty. Kuvassa 10 on esitetty kytkentä, joka toteutettiin Espruino Picon ympärille.



Kuva 10. Laitteiden keskinäinen kytkentäkaavio.

Laitteen ohjelmointi tapahtuu JavaScript-kielillä ja poikkeuksena moniin muihin kehityspiireihin, laitetta ei tarvitse resetoita tai käynnistää uudelleen, kun laitteeseen on käännetty uusi ohjelmakoodi. Ohjelmointirajapintana voi olla jokin terminaalisovellus tai laitetoimittajan suosittelema Chromeen asennettava plug-in moduuli, joka tarjoaa graafisen käyttöliittymän. Kehitys toteutettiin valmistajan suositamalla graafisella käyttöliittymällä. Graafisen käyttöliittymän suurimpana etuna on, että ohjelma hakee kaikki käytettävät kirjastot verkosta ohjelman käynnöksen yhteydessä, joka terminaalisovelluksissa on täysin käyttäjän vastuulla. Ennen kuin laitteisto saatiin toimimaan tuli siihen hakea ja asentaa uudempi laiteohjelmisto.



Kuva 11. Espruino Pico oheiskomponenttien kanssa.

3.2 Intel Compute Stick (SoC-laite)

Ominaisuudet:

Quad-core Intel Atom -prosessori

2 Gt muistia

32 Gt tallennustilaa

WiFi 802.11 bgn ja Bluetooth 4.0

HDMI-liitin, USB 2.0 -portti ja mikro USB käyttövirralle

Mikro SD -korttipaikka

Windows 8.1 -käyttöjärjestelmä Bing:llä



(Quiet PC Ltd. 2015, [32])

Yhden piirin järjestelmän vaatimuksina olivat langaton internetin hyödynnettävyys, kompakti koko kotelon kanssa ja oma käyttöjärjestelmä. Koska kriteerit täyttäviä USB-tikkua hieman kookkaampia vaihtoehtoja oli useita, valittiin Intelin Compute Stick, joka on kohtuullisen tuore toteutus ja sen saatavuus Suomesta oli hyvä. Compute Stickiä on saatavilla sekä Windows 8.1-että Ubuntu-käyttöjärjestelmällä. Jälkimmäisen muisti ja levytila ovat edellä mainittua pienempiä. Valmistajan verkkosivulla luvataan laitteen muuttavan minkä tahansa HDMI-näytön tai -television tietokoneeksi. Laite mahdollistaa tietokonetyöskentelyn myös ahtaissa tiloissa, koska se ei vie juuri ollenkaan työtilaa. Myös töiden siirtäminen kotoa työpaikalle tai toimistosta toiseen on helppoa, koska laite itsessään ei vie paljon tilaa. [33]



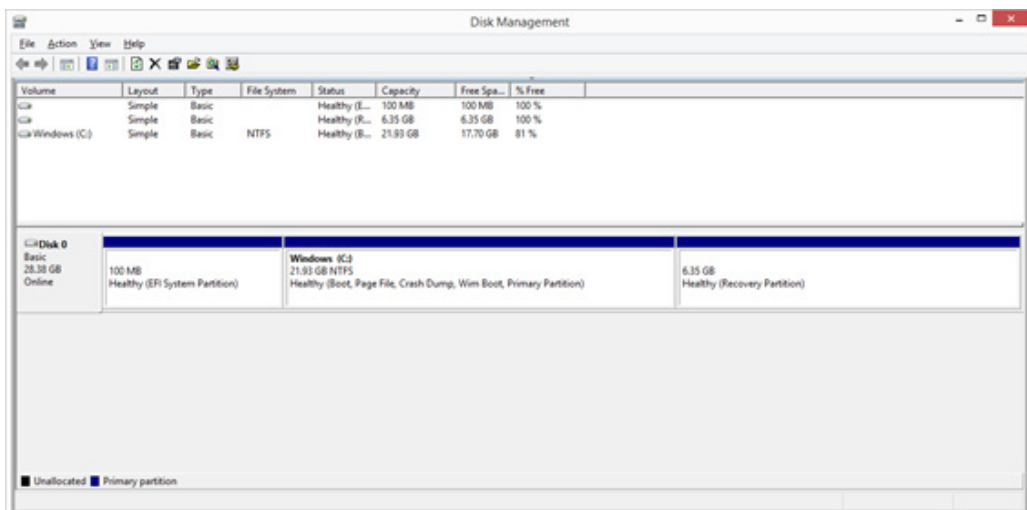
Kuva 12. Intel Compute Stick -pakkauksen varusteet.

Intel Compute Stick oli käyttöönotoltaan yksinkertainen. Pakkauksessa tulleiden laitteen ja johtojen (kuva 12) lisäksi testaamiseen tarvittiin USB-hiiri sekä DVI-HDMI-adapteri testinäytöstä puuttuneen HDMI-liittimen vuoksi. Windows 8.1 -käyttöjärjestelmää varten tuli aluksi tehdä asennusmääritykset, jonka jälkeen laitteen varsinainen käyttö oli mahdollista. Laitetta oli mahdollista käyttää pelkän hiiren avulla ja kirjoittaminen onnistui hyödyntämällä OnScreen-näppäimistöä.



Kuva 13. Intel Compute Stick valmiina kokonaisuutena siihen kytketyn näytön kanssa.

Tallennuskapasiteettia tarkasteltaessa havaittiin, että C-aseman koko oli 21,93 Gt. Windowsin Disc Management -työkalun avulla puuttuvaa 10 Gt:a selvitettyä havaittiin, että kiintolevy oli ositettu kolmeen lohkokoon: EFI, C-asema ja palautusosio, joiden kapasiteetti oli yhteensä noin 28,38 Gt. Puuttuva levytila on todennäköisesti laitteiston omassa käytössä. C-asemalla oli 17,7 Gt vapaana käyttäjän omiin tarpeisiin. (kuva 14)



Kuva 14. Kiintolevyn osioiden tarkastelua Disc Management -työkalulla.

Testauksessa tarkasteltiin järjestelmän resursseja ennen ja jälkeen tietoturvaohjelmiston asennuksen. Muistin käytössä ei havaittu mainittavaa eroa, kun kone oli ilman kuormaa tai kun tietoturvaohjelmisto tarkkaili verkkoliikennettä. Kun tietoturvaohjelmisto suoritti täyden tarkistuksen, muistin käyttö kasvoi 0,2 Gt. Tavalliseen tietokoneeseen verrattaessa huomattiin, että laitteen toiminnoilla oli havaittavissa hieman enemmän viivettä.

3.3 Thingsee One (IoT-laite)

Ominaisuudet:

Thingsee Creator: app.thingsee.com

Sijainti ja nopeus: A-GPS & GNSS

Absoluuttinen orientaatio: 9-akselin sensori moduuli accelerometrillä, gyroskoopilla ja magnetometrillä

Kiihtyvyys: Ultra low power kiihtyvyyssanturi

Ympäristö: Ultra low power ALS

(ambient light sensor), ilmakeuhuus ja lämpötilasensori, ilmanpainesensori (barometri)

Laitteen UI input: CapSense

Akku: ladattava Li-ion akku 1900 mAh, MicroUSB 2.0, kesto jopa yksi vuosi

Yhteydet: 2G quad-band GPRS-modeemi ja microSIM-korttipaikka WLAN ja Bluetooth LE

Näyttö: monochrome 1.54" graphic OLED-näyttö

Muisti: microSD kortti 4 GB (tuki jopa 128 GB asti)

Mitat: 110 x 67 x 19 mm, n. 100g



(Verkkokauppa 2015, [34])

Thingsee One on Oululaisen Haltian Oy:n kehittämä tuote. Suomessa kehitetyn ja valmistetun asioiden internetin monitoimiyökalun kotelo on suunniteltu kestäväksi kolhuja ja kosteutta. Laite on kooltaan sopivan pieni käytettäväksi monenlaisissa käyttökohteissa ja se tarjoaa sensorit paikannukselle, nopeudelle, kiihtyvyydelle, asennolle, lämpötilalle, kosteudelle, ilmanpaineelle ja valolle. Laitteen WEB-käyttöliittymällä pystytään valitsemaan halutut mittaukset, joita seurataan. Thingsee Oneen pystytään määrittelemään ehtoja, joiden toteutuessa laite lähettää dataa haluttuun kohteeseen. Yhteysmuotoina ovat Wi-Fi, mobiiliyhteys (SIM) ja Bluetooth. Thingsee ei itse näytä pienellä näytöllään mitattuja arvoja, vaan ne ovat havainnoitavissa vain verkkopalvelun kautta. [35, 36]

Laite on hyvin pelkistetty, siinä on vain yksi näppäin laitteen käynnistykseen ja sammuttamiseen sekä valintojen hyväksyntään. Lisäksi laitteessa on CapSense-alue, joka reagoi kosketukseen ja sillä voidaan liikkua laitteen valikoissa. Thingsee on käyttövalmis laite, joka saadaan lähettämään dataa pilvipalveluun ja viestejä käyttäjälle asentamalla SIM-kortti ja määrittämällä yhteysasetukset. Wi-Fi-yhteysmuoto on käytännöllinen, jos pysytään langattoman verkon kuuluvuusalueella, jolloin dataliittymää ei tarvita. SIM-kortin asennus tapahtuu avaamalla koko laite pakkauksesta löytyvällä ruuvimeisselillä. Laitteen joutuu myös avaamaan, jos sen ohjelmisto jumituu ja vaatii resetoinnin. Pieni reset-näppäin löytyy laitteen sisältä SIM-korttipaikan vierestä. Laitteen ja ruuvimeisselin lisäksi pakkauksesta löytyy USB-johdot laitteen lataamiseen ja asetustiedostojen muokkaamiseen.

Sensoridatan tallennus tapahtuu lähtökohtaisesti Thingseen omaan pilvipalveluun. Thingseen WEB-käyttöliittymän avulla voidaan tarvittaessa vaihtaa sensorikohtaisesti tallennuskohde mihin tahansa pilvipalveluun lisäämällä pilven URL-osoite kyseisen tehtävän kohdalle. Thingsee voi lähettää kaiken keräämänsä datan myös valitulle serverille käyttäjän muokattua laitteen "cloud.json" -tiedostoa. Laite voidaan määrittää myös lähettämään tekstiviesti valittuun matkapuhelinnumeroon, jos määritetyt ehdot toteutuvat. Ottaakseen tekstiviesti-ilmoituksen käyttöön, tulee käyttäjän lisätä "cloud.json"-tiedostoon hieman koodia ja käyttää mobiiliyhteyttä samanaikaisesti Wi-Fi-yhteyden kanssa.

Testauksessa kokeiltiin tekstiviestin lähetystoimintoa laitteen kiihtyvyyssanturin testauksen yhteydessä ja todettiin sen toimivan. Laitteeseen lisättiin tehtävä, jossa kiihtyvyydelle asetettiin minimiarvoksi 1,5 G (impact) ja kiihtyvyyssanturin tallentamisen lisäksi tehtäväksi lähettää viestin matkapuhelimeen. Näillä asetuksilla määritettyä laitetta voimakkaasti ravistettaessa, se lähetti ennalta määritetyn tekstiviestin tehtävässä määritettyyn puhelinnumeroon.



Kuva 15. Ketjutetut toiminnot laitteen verkkopalvelussa.

Testauksessa kokeiltiin myös erillisten yksittäisten parametrien pilvipalveluun tallentamisen lisäksi ketjuna tapahtuvia tehtäviä. Ensimmäiseksi tehtäväksi asetettiin kiihtyvyys ja sille raja-arvoksi 1,5 G, jonka toteutuessa laite lähetti kiihtyvyyden arvon pilveen ja siirtyi seuraavaan tehtävään, joka oli lämpötilan ja GPS-tietojen lähettäminen pilvipalveluun. Kolmas tehtävä oli akun varauksen määrän lähettäminen pilvipalveluun ja se toteutui edellisten tehtävien toteuttua. Neljäntenä ja viimeisenä tehtävänä laitetta tuli heilauttaa oikealle 1 G voimakkuudella (määritelty kiihtyvyyden raja-arvo), jonka jälkeen se palasi alkutilaan. Laitetta ravistamalla tai täryttämällä saatiin alulle edellä mainittu ketjureaktio.

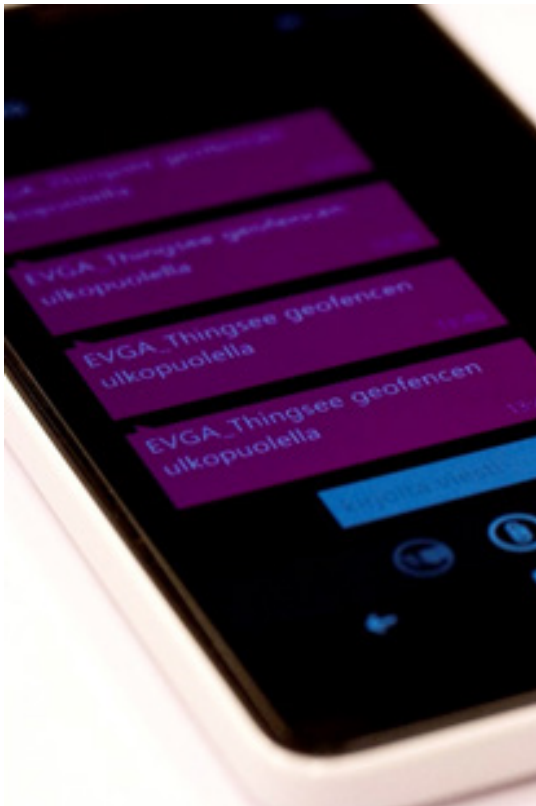


Kuva 16. Laite odottaa käyttäjältä ravistamista.

Laitteen ketjutettuja toimintoja voidaan käyttää esimerkiksi olosuhteiden mittaamiseen ja hälytysten lähettämiseen mobiililaitteeseen. Jos esimerkiksi elintarvikekontin lämpötila nousee liian lämpimäksi, laite voi lähettää tekstiviestin haluttuun puhelinnumeroon. Laitteen asento- ja kiihtyvyyssensorit mahdollistavat monenlaisten toimintaketjujen laukaisemisen.

Laitteen GPS-paikannus näyttäisi olevan kohtuullisen tarkka. Verkkosovellus näyttää laitteen sijainnin Googlen kartalla ja ilmoittaa leveys- ja pituuskoordinaatit kymmenen desimaalin tarkkuudella. GPS:n toimintaa testattiin asettamalla siihen alue, geofence, jonka sisällä Thingseen tulisi pysyä. Jos laite poistuu alueelta, se lähettää GPS-tiedot pilvipalveluun ja tekstiviestin valittuun matkapuhelinnumeroon etukäteen määritellyin aikavälein. Toimintaketju toimi erittäin hyvin ja se laajentaa laitteen käyttömahdollisuuksia omaisuuden suojaamistarkoituksissa. Laitetta voidaan käyttää esimerkiksi varastetun esineen tai koneen jäljittämiseen, jos siihen asetetaan alue, jolla kyseinen esine yleensä sijaitsee. Esineen poistuessa tältä alueelta laite lähettää tekstiviestin määritettyyn puhelinnumeroon ja tallentaa sijaintitietonsa pilvipalveluun.

Tekstiviestit eivät sisällä laitteen sijaintia, vaan pelkän ennalta määritetyn viestin – Testitilanteessa "EVGA_Thingsee geofencen ulkopuolella". WEB – rajapinnan kautta käyttäjä kuitenkin pystyy näkemään, missä laite on. Käyttäjä pystyy määrittämään viestien maksimi lukumäärän päiväkohtaisesti. Laite lähettää saman viestin määritellyin aikavälein, kunnes se on taas geofencen sisäpuolella. Aikavälin voi määrittää yhden sekunnin ja 30 päivän väliltä. Aikaväli kuitenkin rajoittaa myös sitä, kuinka usein laite tarkistaa sijaintinsa, joten varkaudenestossa muutama tuntikin saattaa olla liian pitkä aika.



Kuva 17. Thingseen lähettämiä tekstiviestejä matkapuhelimessa.

Sensoritietojen luentaa harventamalla voidaan lisätä akun kestoa ja valmistaja lupaakin akulle parhaassa tapauksessa kestoa jopa vuoden verran. Huomattavaa on, että vaikka laitteen saa päivittämään lämpötilatiedon jopa sekunnin välein, se kuitenkin reagoi hitaasti ulkoisten olosuhteiden lämmön vaihteluun, koska lämpötilaanturi sijaitsee säänkestävän kotelon sisällä. Tämän vuoksi laite myös mittaa ainakin sisätiloissa todellisuutta korkeampia tuloksia lämmön suhteen. Sisätilasta ulkotilaan siirrettäessä noin 15 asteen lämpötilan muutos päivittyy mitausdataan lopullisesti yli 15 minuutin kuluttua. Toisaalta kyseessä on suure, joka normaalisti muuttuu hitaammin, kuin edellä mainitussa tilanteessa. Ajoneuvoympäristössä laitteen itsensä selvimmät käyttötarkoitukset lienevät varkauden jäljittämässä ja ajonopeuksien seurannassa.

3.4 Käytännön sovellettavuustestaus

Näiden edellä esiteltyjen laitteiden avulla toteutettiin sovellettavuustestausta, jossa jokaisella laiteella on oma toisista poikkeava rooli. Thingsee one on mittausyksikkökokonaisuus, josta tiedot voidaan välittää eteenpäin joko hyödyntäen ennalta määrättyä WLAN-verkkoa tai mobiilidatayhteyttä. Valmistajan rajapinnan kautta määriteltyjä tehtäviä voidaan vaihtaa lennosta, mikäli halutaan tietoa erilaisilla kriteereillä. Tällaisia tehtäviä voivat olla ajoneuvopuolella tilanteet, jossa ensin on haluttu havaita voimakkaat iskut, kuten erilaiset töyssyt tai kolaritilanteet, josta on välitetty sekä iskun voimakkuus, iskun suunta, sijainti sekä nopeus esimerkiksi kaupunkiajosta. Maantielle mentäessä tehtäväksi vaihdetaan, että rekisteröidään tilanteet, joissa tapahtuu voimakasta jarruttamista. Jarruttamisen avulla voidaan kartoittaa vaarapaikkoja, joita voivat olla erilaiset liittymät ja risteykset tai sorkkaeläinten kulkureitit. Espruino Pico puolestaan voi toimia WLAN-alueilla ja lukea siihen kytkettyjen sensoreiden tietoja sekä ohjata erilaisia kojeiden toimintoja, jotka niin ikään ovat kytkettynä Espruino Picoon. Erilaisissa ohjauksissa tosin tulee lisätä elektroniikkaa Espruino Picon ja laitteen välille, jotta mahdolliset virtapiikit tai muut häiriöt eivät vahingoita Espruino Picoa. Intel Compute Stick taas voi toimia joko solmulaitteena tai eräänlaisena palvelimena, kuten tekemässämme testauksessa.



Kuva 18. Sovellettavuustestauksessa käytetyt Intel Compute Stick, Thingsee one sekä Espruino Pico.

Intel Compute Stickille asennettiin WWW-palveluun tarvittavia komponentteja Windowsin omista sovelluksista, joiden avulla internet Information Servicen (IIS) käyttö oli mahdollista. Laitteeseen asennettiin myös SQL tietokanta tietojen tallentamista varten. Tämän jälkeen kehitettiin WEB – palvelu, jossa oli rajapinta Espruino Picolle sekä käyttäjä. Intel Compute Stick oli yhteydessä Internetiin WLAN yhteyden yli. Espruino Picoon oli kiinnitetty ultraäänisensori, jonka tieto välitettiin palveluun myös WLAN-yhteyden yli. Espruino Pico välittää tietonsa 5 sekunnin välein, joka samalla aktivoi palvelussa kyselyt Thingsee One -palveluun, josta saatiin paluutietona Thingsee Onen -tehtävän mukaiset raportoinnit ja tällä tavalla saatiin taustajärjestelmään myös tieto IoT – laitteelta. Paluuviestinä Espruino Pico saa mahdollisen ohjauksikäskyn. Thingsee One -laitteeseen oli asetettu tehtäväksi, että se raportoi 10 sekunnin välein sijainnin, nopeuden, iskun voimakkuuden, akun varaustason, lämpötilan, ilmanpaineen sekä suhteellisen kosteuden, mikäli niillä jokaisella on jokin arvo. Yhteysmuotoina testauksissa käytettiin sekä WLAN että mobiilidatayhteyksiä.

Environment monitoring by Internet of Things devices



Measure point: 3
 Humidity: 99,6 %
 Pressure: 994,2 hPa
 Temperature: 0,8 Celcius
 Speed: 29 km/h
 Latitude: 3379040
 Longitude: 7110653
 Battery: 87 %
 Impact: 0,025 g
 At time: 12:37:55 18.12.2015
 Distance: 80

Previous Next Current

Kuva 19. Käyttäjä rajapinta tilannetietojen tarkkailuun.

Käyttäjä rajapinnassa hyödynnettiin Centrialla aiemmin toteutettua karttasovellusta, jonka luomasta karttanäkymästä otettiin testauksiin staattinen kuva. Thingsee Onen välittämät GPS -sijaintitiedot ovat WGS84 muodossa, jotka karttaa varten tuli muuttaa YKJ –muotoon. Rajapinnan avulla käyttäjä pystyy oletuksena näkemään viimeisimmät tiedot Thingseeltä ja rajapinta hakee viimeisimmät tiedot 10 sekunnin välein. Käyttäjä voi myös tarkastella aiempia mittauksia Previous ja Next -painikkeilla, jolloin automaattinen päivitys pysähtyy. Tarkasteltava piste on värjätty vihreäksi ja muut pisteet 20 viimeisimmästä pisteestä on värjätty vaaleansinisiksi. Kuvassa vasemmalla ylhäällä on aktiivinen mittauksen tarkastelupiste. Kun käyttäjä klikkaa Current -painiketta, tällöin automaattinen päivitys käynnistyy uudelleen.

Tämän kaltaista kokonaisuutta voidaan soveltaa esimerkiksi ympäristöstä olosuhdetiedon keräämiseen ja nosto-oven automaattiseen avaamiseen. Sijoittamalla Espruino Pico nosto-oven kattokiskon päähän mittaamaan etäisyyttä, jolloin etäisyys on maksimi oven ollessa alhaalla ja minimi oven ollessa ylhäällä. Kun Thingsee One tulee ennalta määrätyn etäisyyden päähän rakennuksesta, tällöin Espruino Pico tarkastaa oven tilan ja avaa sen tarvittaessa. Vastaavasti, kun Thingsee One on loitonnut tarpeeksi, Espruino Pico sulkee oven. Tai vastaavasti tuotantolaitoksen portti avautuu, kun sinne tavaraa tuova rekka lähetty porttia.

Espruino Picon avulla voidaan toteuttaa hyvinkin laajasti erilaisia ohjaus- ja mittaustoimintoja. Sovellettavuutta löytyy myös kotiautomaation puolella, jossa Espruino Picon avulla voidaan ohjata vaikka sälekaihtimia vuorokauden ja valoisuuden mukaan. Tämä puolestaan toimii ennalta ehkäisevänä varkauden estona, kun talon asukkaat ovat reissussa. Ajoneuvopuolella Espruino Picon avulla voidaan toteuttaa yksittäisiä mittauksia langattomasti, kunhan se koteloidaan tarpeeseen sopivasti sekä tuodaan sille käyttövirta. Espruino Picolla, kuten muillakin kehityspiireillä, voidaan kustannustehokkaasti luoda erilaisia variaatiototeutuksia, joiden avulla optimoidaan ja selvitetään parhaat sensorit ja ohjelmistoratkaisut vastaamaan tarvetta ennen mahdollista massatuotantoa.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Nykyisissä kehityssarjoissa ja logiikoissa heikkoutena on se, että niille tehtävät toteutukset ovat useasti spesifikoituja – vaikka lähtökohtaisesti ne ovatkin hyvin skaalautuvia. Liitäntöjen lisäksi käytettävissä oleva muisti sekä suorituskyky asettavat omat rajoituksensa toteutukselle. Suorituskyky on näistä kahdesta keskeisin ominaisuus, koska se rajoittaa muun muassa sitä kuinka nopeasti mittauksia voidaan tehdä ja kuinka paljon tietoa voidaan käsitellä. Mikrokontrollerin muistia tarvitaan lähinnä itse ohjelmistoon ja sen muuttujiin sekä kirjastoihin, mutta myös lisäksi mahdolliseen tiedon tallennukseen. Ohjelmiston toteutuksella on hyvin suuri merkitys suorituskyvyn tarpeeseen ja ohjelmiston toteutuksen merkitys kasvaa, mitä vähemmän muistia tai prosessointikykyä laitteessa on käytettävissä.

Kehityssarjoja ei myöskään ole yleensä valmiiksi koteloitu, joten niiden käyttö autoissa ja altistuminen ilmakehille aiheuttavat ongelmia. MicroPC:t puolestaan vaativat käyttämiseen joko kosketusnäytön tai näytön ja hallintalaitteita, kuten hiiren ja näppäimistön. Jäljempi ratkaisun käyttö ajoneuvoympäristössä olisi vaikeaa ja aiheuttaisi turvallisuusriskin. Mutta kosketusnäyttö pelkistetyllä tarkoitukseen soveltuvalla käyttöliittymällä, joka ei vaadi käyttäjältä ajonaikaisia toimenpiteitä, mutta antaa ajajalle tarpeelliset tiedot, on toimiva ratkaisu. PC-ratkaisut tarjoavat kuitenkin paljon ylimääräistä sisältöä, jota todennäköisesti jouduttaisiin rajoittamaan ajoneuvoympäristössä käytettäessä. Thingsee Onen kaltainen sensoriratkaisu puolestaan on valmis ja kolhuja kestävä paketti, mutta ei tarjoa käyttäjälle käyttöliittymää, josta kerättyä dataa voisi ajotilanteessa tarkkailla suoraan. Näin ollen IoT-ratkaisusta täytyy tehdä kokonaisuus, joka koostuu useammasta osatoteutuksesta ja rajapinnasta, josta saa aina viimeisimmät tiedot automaattisesti.

Autot ovat jo jossain määrin osa esineiden internetiä, mutta tulevaisuudessa autojen verkkoyhteydet tulevat lisääntymään ja luomaan uudenlaisia sovellusten ja palvelutarpeita. Yhteyksien lisääntyminen autoissa ja ajamisen automatisoituminen aiheuttavat myös uudenlaisen haasteen tietoturvalle, kun pyritään estämään autojen hallinnan kaappausyritykset. Robotiajaminen tuskin korvaa ihmiskuskeja täysin, koska osa ihmisistä haluaa ajaa itse vaikka niitä yleisesti olisikin saatavilla. Ajamiseen ja päätöksentekoon liittyvän reaaliaikaisen informaation saanti on tärkeä etu, jonka kuljettajat varmasti haluavat. Koska autoissa voidaan käyttää vain langattomia tekniikoita, on tietoturvaratkaisuja rakennettava tästä näkökulmasta. Autovalmistajat joutuvat ottamaan vastaan haasteen, jossa autoon rakennetaan oma verkkoyhteys ja sisäinen langaton verkko, jotta erilaiset yleistyvät sovellukset, kuten eCall, saadaan otettua käyttöön. Osa autovalmistajista on jo ottanut tämän osaksi tuoteratkaisujaan, kuten MirrorLink, CarPlay tai Android Auto. Nämä laitteistot integroivat matkapuhelimet autoon ja mahdollistavat niihin kehitettyjen sovellusten hyödyntämisen ajoneuvoympäristössä. [37]

Laitevalmistaja Freescale esittää verkkosivuillaan vision "huomisen internetistä", the Internet of Tomorrow, joka on varsin kattava kuva liikenteestä osana esineiden internetiä. Visiossa katsotaan sekä lähitulevaisuuteen että hieman kauemmas. Autot kommunikoivat tulevaisuudessa sekä keskenään että infrastruktuurin kanssa ja näiden yhteyksien tulee olla sekä turvallisia että tietoturvallisia. Tulevaisuuden IoT-ratkaisujen tarkoitus on vähentää onnettomuuksia ja kuolemantapauksia liikenteessä. Koska auto on yleensä henkilön yksityisomaisuutta, tulee myös informaation säilyä henkilökohtaisena ja olla turvattua. IoT mahdollistaa kotona olevan viihteen skaalauksen myös ajoneuvoon: suosikkimusiikki tai -videot ovat tavoitettavissa myös autossa. Kauempana tulevaisuudessa tutka- ja kamerateknologia avustavat ajamista yhdistämällä reaaliaikaisen datan verkosta saatavaan materiaaliin, kuten karttoihin. Myös nämä asettavat vaatimuksia tietoturvalle. Freescalen näkemyksessä autoissa yleistyvät esimerkiksi head-up display -näytöt, jotka antavat lisäinformaatiota kuskille. Kaupunkiympäristössä dataa on maantieajoa enemmän ja esimerkiksi jalankulkijoihin reagoidaan tutkateknologian avulla. Autoista kerätään ja jaetaan myös päästötietoja, jotka auttavat seuraamaan ja ymmärtämään kokonaistilannetta. Viimeisenä kehitysasteena tässä näkemyksessä on täysin päästötön ja onnettomuusvapaa liikenne. [38]

Puettavat ratkaisut, kuten Google Glass, mahdollistavat huolto- ja ylläpitotoimenpiteet tuotantolaitoksissa, mutta mahdollisesti myös ajoneuvojen kohdalla huollossa ja korjaamoissa. Koneet ja laitteet lähettävät sensoridataa pilvipalveluun, josta käyttäjän lasit saavat tietoa. Käyttäjän tarvitsee tällöin vain katsoa konetta lasien kanssa ja hän voi nähdä mahdollisia vikatiloja. Kone voi lähettää laseihin esimerkiksi lämpötilatietoja, jos jokin osa ylikuumenee, tai jopa mahdollisen viallisen osan tiedot. Toisaalta vastaavan tiedon voi lähettää myös työntekijän tai käyttäjän matkapuhelimeen, jolloin mahdollisiin vikatiloihin voidaan reagoida ajoissa. Tulevaisuuden visioissa koneet ja laitteet pystyvät tekemään korjaavia toimenpiteitä myös automaattisesti ja lähettämään sen jälkeen tiedon käyttäjälle tehdystä toimesta. Myös RFID-tunnisteita voidaan käyttää apuna esimerkiksi laitteiden ajankohtaisten käyttöohjeiden tai tuotantoympäristössä valmistettavan tuotteen kokoonpano-ohjeiden hakemiseen. IoT:in ratkaisujen potentiaalia ei vielä ole hyödynnetty kovinkaan paljon tuotantoympäristöissä, mutta tulevaisuudessa tämä tulee muuttumaan. [39, 40]

Esineiden internet tarjoaa valtavan liiketaloudellisen potentiaalain, mutta se vaikuttaa myös olemassa olevien yritysten toimintaan. Joidenkin arvioiden mukaan neljästä kymmeneen joka alan johtavaa yritystä tulee katoamaan tai korvautumaan jollain muulla yrityksellä tulevien viiden vuoden aikana. Sovelluksista hyötyvät älykkäät kaupungit ja niiden liikenne sekä jälleenmyyntisektori. Suurin potentiaali esineiden internetissä on kuitenkin teollisuuden yrityksillä toiminnan ja laitteistojen optimoinnin kautta sekä terveydenhuollossa. [41] Teollisuudessa on mahdollista seurata laitteiden toimintaa ja tuotannon tasoja, jonka lisäksi sensorit voivat varoittaa vikatiloista ja aloittaa korjaavat toimenpiteet automaattisin toiminnoin. Tuotannon seuranta ja ohjaus on mahdollista tehdä mobiilisovellusten avulla etänä. Esineiden internet mahdollistaa koko logistisen ketjun seuraamisen tilauksen teosta kuljetuksen kautta loppuvarastointiin ja jälleenmyyntiin. Apuna tällaisessa ratkaisussa käytetään pilvipalveluja ja RFID-tunnisteita. [42] Parhaimmassa tapauksessa jälleenmyyjien paikalliset varastot voidaan vähentää minimiin ja logistiikkakeskuksissakaan ei tarvitse seisottaa tavaraa, kun kaikki liikkuva tavara on paikannettavissa. Tällaiset logistiikkamallit muodostavat täysin uudenlaisia palvelumalleja, kuten tänä vuonna käyttöön otettu Golli-palvelu [43].

IoT-tutkimus näyttää keskittyvän alan markkinoiden mahdollisuuksiin ja IoT:in hyödyntäjiin. AIOTI:n (Alliance for Internet of Things Innovation) julkaisemalla kahdentoista suosituksen listalla hyödyntäjistä esille nousevat älykkäät kaupungit, liikenteen ratkaisut, puettavat laitteet

ja vanhustenhoito. [44] Horizon 2020 -haussa laajojen IoT-pilottien aiheina ovat vuosille 2016–2017 muun muassa älykkäät elinympäristöt ikääntyville, maanviljelys ja ruuan turvallisuus, puettava älykkyyys ja itsestään ajavat ajoneuvot [45]. Samat teemat siis selkeästi toistuvat. Yritystasolla kehitellään sellaisia uusia ratkaisuja Wi-Fi ja matkapuhelinverkkoysteysien rinnalle, jotka vastaavat kevyiden IoT-sovellusten vaatimuksiin. Wi-Fi-yhteyden kantama ei välttämättä ole riittävä ja toisaalta matkapuhelinverkon rakentaminen on kallista ja kapasiteetti ylimitoitettu moneen IoT-ratkaisuun, joten näiden yhteysmuotojen väliin olisi hyvä löytää ratkaisu. Esimerkiksi Ingenun kehittämän verkkoratkaisun luvataan jatkavan IoT-laitteen pariston elinikää jopa 20 vuoteen. [46]

Lisää mielenkiintoista tietoa esineiden internetistä löytyy Aarhusin Alexandra Institutin julkaisemista IoT comic book -julkaisuista [47, 48]. Julkaisuissa tuodaan esille muun muassa hyvien bisnesmallien merkitys menestyvien IoT-ratkaisujen myynnissä. IoT mahdollistaa muun muassa jakamistalouden, jossa johonkin esineeseen lisätään siru, jonka perusteella se voidaan paikantaa. Näin ollen yhteisöt voivat hankkia yhteisiä ajoneuvoja, laitteita ja koneita joista useat käyttäjät voivat saada hyödyn. IoT-ratkaisujen tehtävänä on parantaa ihmisten elämänlaatua, eikä hankaloittaa sitä. Siksi sovellusten tulee olla automaattisia ja helppokäyttöisiä. Julkaisussa korostetaan erityisesti sairaan- ja vanhustenhoidon ratkaisuja: IoT voi tarjota ratkaisun turvallisempaan lääkkeenjakeeluun ja esimerkiksi Alzheimer-potilaiden seurantaan, jolloin potilaan elämänlaatu paranee turvallisempien liikkumismahdollisuuksien ansiosta. Potilaiden ja vanhuksien seurannasta ei kuitenkaan saa muodostaa henkilökohtaista vankilaa, joka vie asianomaiselta kokonaan yksityisyyden. Sama koskee kaikkia IoT-ratkaisuja – ne eivät saa loukata yksityisyyden rajoja, eivätkä toimia automaattisina lainvartijoina, joita ihmiset kuljettavat tietämättään taskussaan.

LÄHTEET

- [1] TeliaSonera 2015. Internet of Things – kuinka IoT voisi edistää sinun liiketoimintaasi? Www-dokumentti.
Saatavissa: <https://www.sonera.fi/yrityksille/miksi+sonera/hyodyt+yrityksellesi/Internet+of+things?gclid=CKvQ2snwrckCFcSVGwodRwoG6g>. Luettu 26.11.2015.
- [2] Ailisto, H. 2013. Esineiden ja asioiden internet – seuraava teollinen murros. Www-dokumentti.
Saatavissa: http://www.vtt.fi/Documents/2013_Esineiden_ja_asioiden_internet_Ailisto.pdf. Luettu 16.11.2015.
- [3] Guillemin, P. & Friess, P. 2009. Internet of Things strategic research roadmap. The Cluster of European Research Projects. Www-dokumentti.
Saatavissa: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf. Luettu 26.11.2015.
- [4] IBM Cloud 2015. What is cloud computing? Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.ibm.com/cloud-computing/what-is-cloud-computing.html>
Luettu 17.11.2015
- [5] TechTarget 2015. Platform as a Service (PaaS) definition. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://searchcloudcomputing.techtarget.com/definition/Platform-as-a-Service-PaaS>. Luettu 17.11.2015.
- [6] TechTarget 2015. Infrastructure as a Service (IaaS) definition. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://searchcloudcomputing.techtarget.com/definition/Infrastructure-as-a-Service-IaaS>. Luettu 17.11.2015.
- [7] ARM Ltd. 2015. Welcome to new mbed. Www-dokumentti.
Saatavissa: <https://www.mbed.com/en/>. Luettu 27.11.2015.
- [8] Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L 2015. Wasp mote. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.libelium.com/products/wasp mote/>. Luettu 27.11.2015.
- [9] Onion Corporation 2015. Onion Omega. Www-dokumentti.
Saatavissa: <https://onion.io/omega>. Luettu 27.11.2015.
- [10] Guardian News and Media Ltd 2015. Raspberry Pi becomes best selling British computer. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.theguardian.com/technology/2015/feb/18/raspberry-pi-becomes-best-selling-british-computer>. Luettu 27.11.2015.
- [11] Raspberry Pi Foundation 2015. Raspberry Pi Zero: The \$5 computer. Www-dokumentti.
Saatavissa: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberrypi-zero/>. Luettu 27.11.2015.
- [12] The Magpi – The official Raspberry Pi magazine 2015. Raspberry Pi Zero photo gallery. Www-dokumentti.
Saatavissa: <https://www.raspberrypi.org/magpi/zero-gallery/>. Luettu 27.11.2015.

- [13] Kickstarter pbc 2015. Remix Mini - The World's First True Android PC. Www-dokumentti.
Saataavissa: <https://www.kickstarter.com/projects/jidetech/remix-mini-the-worlds-first-true-android-pc/description>. Luettu 30.11.2015.
- [14] Rohling, G. 2015. Facts and Forecasts: Billions of Things, Trillions of Dollars. Pictures of the Future – The Magazine for Research and Innovation (Siemens). Www-dokumentti.
Saataavissa: <http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/digitalization-and-software/internet-of-things-facts-and-forecasts.html>.
Luettu 17.11.2015.
- [15] Rossi, B. 2015. The Rise of 5G: the network for the Internet of Things. Www-dokumentti.
Saataavissa: <http://www.information-age.com/technology/mobile-and-networking/123460415/rise-5g-network-internet-things>. Luettu 2.12.2015
- [16] Nokia Solutions and Networks 2015. How mobile networks will empower the Internet of Things. Www-dokumentti.
Saataavissa: <http://networks.nokia.com/news-events/insight-newsletter/articles/how-mobile-networks-will-empower-the-internet-of-things>. Luettu 2.12.2015
- [17] Mobile Europe 2015. Ericsson busies itself with IoT, smart technologies. Www-dokumentti.
Saataavissa: <http://www.mobileeurope.co.uk/press-wire/ericsson-busies-itself-with-iot-smart-technologies>. Luettu 4.12.2015.
- [18] Somov, A. & Giaffreda, R. 2015. Powering IoT Devices: Technologies and Opportunities. Www-dokumentti.
Saataavissa: <http://iot.ieee.org/newsletter/november-2015/powering-iot-devices-technologies-and-opportunities.html>. Luettu 7.12.2015.
- [19] The Channel Company 2015. The 10 Coolest IoT Startups Of 2015 (So Far). Www-dokumentti.
Saataavissa: <http://www.crn.com/slide-shows/networking/300077542/the-10-coolest-iot-startups-of-2015-so-far.htm?itc=refresh>. Luettu 1.12.2015.
- [20] Kickstarter PBC 2015. IoT. Www-dokumentti.
Saataavissa: https://www.kickstarter.com/discover/advanced?ref=nav_search&term=IoT. Luettu 3.12.2015.
- [21] XPRICE Foundation 2015. Nokia Sensing XCHALLENGE. Www-dokumentti.
Saataavissa: <http://sensing.xprize.org/>. Luettu 4.12.2015.
- [22] Skully 2015. The helmet evolved. Www-dokumentti.
Saataavissa: <http://www.skully.com/#smartest-helmet>. Luettu 4.12.2015.
- [23] Nixie Labs, Inc. 2015. Wearable and flyable. www-dokumentti.
Saataavissa: <http://flynixie.com/>. Luettu 4.12.2015.

- [24] Slush 2015. Welcome to the north. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://assets.slush.org/2015/08/Slush-20151.pdf>. Luettu 1.12. 2015.
- [25] Forbes 2015. Mattermark Lists The Top 100 Internet Of Things Startups For 2015. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2015/10/25/the-top-100-in-ternet-of-things-startups-of-2015/>. Luettu 1.12.2015
- [26] View Inc. 2015. A more intelligent window. www-dokumentti.
Saatavissa: <http://viewglass.com/>. Luettu 1.12.2015.
- [27] Alarm.com 2015. Smart Home Solutions. Www-dokumentti.
Saatavissa: <https://www.alarm.com/smart-home-solutions?loc=homepg-body>.
Luettu 2.12.2015.
- [28] Movidius 2015. Transforming Devices Through Ultra Low-power Machine Vision. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.movidius.com/>. Luettu 2.12.2015.
- [29] Thinfilm 2015. Memory Everywhere. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.thinfilm.no/> Luettu 2.12.2015.
- [30] Wired 2012. Printed sensors could help save you from spoiled food. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.wired.com/2012/01/printed-circuit-food-safety/>.
Luettu 2.12.2015.
- [31] Pur3 Ltd. 2015. Espruino Pico. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.espruino.com/Pico>. Luettu 30.11.2015.
- [32] Quiet PC Ltd. 2015. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.quietpc.com/intel-compute-stick>. Luettu 30.11.2015.
- [33] Intel Corporation 2015. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.intel.com/content/www/us/en/compute-stick/intel-compute-stick.html>. Luettu 30.11.2015.
- [34] Verkkokauppa.com 2015. Thingsee One IoT monitoimilaite & kehitysalusta. Www-dokumentti.
Saatavissa: <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/17041/fjhqk/Thingsee-One-IoT-monitoimilaite-kehitysalusta-Rocky-Grey>. Luettu 30.11.2015.
- [35] Thingsee 2015. IoT made easy. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.thingsee.com/>. Luettu 2.12.2015.
- [36] Haltian 2015. Thingsee One. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.haltian.com/Internet-Of-Things/Case-1>. Luettu 2.12.2015.
- [37] Electronics Weekly 2015. IoT-connected vehicles will challenge car firms. Www-dokumentti.

- Saatavissa: <http://www.electronicweekly.com/news/iot-connected-vehicles-will-challenge-car-firms-2015-10/>. Luettu 34.12.2015.
- [38] Freescale Semiconductor, Inc. 2015. Automotive Internet of Tomorrow. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.freescale.com/files/auto-iot/index.html>. Luettu 3.12.2015.
- [39] TechTarget 2015. IoT technologies make inroads into manufacturing. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://searchmanufacturingerp.techtarget.com/feature/IoT-technologies-make-inroads-into-manufacturing>. Luettu 7.12.2015.
- [40] Exchangewire.com 2015. Internet of Things: The Future. Www-dokumentti.
Saatavissa: <https://www.exchangewire.com/blog/2015/11/03/internet-of-things-the-future/>. Luettu 11.12.2015.
- [41] TeliaSonera 2015. Internet of Things (IoT) – Show me the money!! Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://blogit.sonera.fi/2015/08/internet-of-things-iot-show-me-the-money/>. Luettu 3.12.2015.
- [42] Krupitzer, C. 2015. Automate Manufacturing with IoT Technology. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.thinglogix.com/automate-manufacturing-iot-technology/>.
Luettu 4.12.2015.
- [43] GS1 Finland Oy 2015. Golli. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.gs1.fi/gs1-palvelut/golli>. Luettu 4.12.2015.
- [44] European Commission 2015. AIOTI publishes recommendations on the future of the Internet of Things for innovation and deployment. Www-dokumentti.
Saatavissa: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/aioti-recommendations-future-collaborative-work-context-internet-things-focus-area-horizon-20-0>.
Luettu 10.12.2015.
- [45] European Commission 2015. Horizon 2020 Work Programme 2016-2017: Internet Of Things Large Scale Pilots. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/horizon-2020-work-programme-2016-2017-Internet-things-large-scale-pilots>. Luettu 10.12.2015.
- [46] Dow Jones & Company 2015. Wireless War Erupts Over 'Internet of Things'. Www-dokumentti.
Saatavissa: <http://www.wsj.com/articles/wireless-war-erupts-over-Internet-of-things-1449704231>. Luettu 11.12.2015
- [47] Presser, M. 2012. Inspiring the Internet of Things. Special edition. Www-julkaisu.
Saatavissa: https://iotcomicbook.files.wordpress.com/2013/10/iot_comic_book_special.pdf. Luettu 8.12.2015.
- [48] Presser, M. 2013. Inspiring the Internet of Things. Business edition. Www-julkaisu.
Saatavissa: https://iotcomicbook.files.wordpress.com/2013/10/iot_comic_book_business.pdf. Luettu 8.12.2015

LIITE 1. Kehityssarjoja ja -alustoja keskeisine ominaisuuksineen.

	Arduino Duemilano ve	nRF51	Artik 5	Qualcomm IoT kehitysalus ta	Espruino Pico	WeIO
Prosessori / mikrokontrolleri	ATmega168	ARM Cortex M0 CPU	ARM A7 Dual @ 1GHz		ARM Cortex M4	ARM Cortex M0 CPU
Muisti	16kt	128/256kt	512Mt	128Mt	384kt	16Mt
Digitaalinen IO / GPIO	14	31	47	28	13	32
Analoginen sisääntulo	6	8 kanavaa	2		9	
USB	X		X	X	X	X
Sarjaportti		X		X		
Ethernet / RJ45						X
Bluetooth		X	X			
Wi-Fi			X	X		X
3G / 4G				X		
PWM tuki	X		X		X	X
SPI tuki	X	X	X	X	X	X
UART		X	2	X	X	X
I²C tuki	X		X	X	X	X
Lähde	https://www.arduino.cc/en/Main/Arduino-BoardDuemilanova	www.nordicsemi.com/eng/Products/Bluetooth-Smart-Bluetooth-low-energy/nRF51-IoT-SDK	www.artik.io/hardware/artik-5	https://developer.qualcomm.com/hardware/iot-cellular-dev	www.espruino.com/Pico	http://weio.net/hardware/

LIITE 2. Markkinoilla olevia yhden piirin laitteita

STCK1A32WFC	MEEGO-401	iStick 350-SSD	Lenovo - IdeaCentre Stick 300 mini PC	Ugoos UM2 Android HDMI-stick mini-PC	Tuotenimike
Intel Atom processor Z3735F	Bay Trail-T QuadCore	Quad-Core 1.6 GHz	Intel Atom Z3735F	Rockchip TK3188	Proessori
2 Gt	1Gt (32bit), 2 Gt (64bit)	2 Gt	2Gt	2Gt	Muisti
Windows 8.1 (32 bit)	Windows 8.1, Android	Android	Windows 8.1, Windows10	Android 4.2	Käyttöjärjestelmä
32 Gt eMMC	eMMC 4.5 16 GT tai 32 Gt	mSata (max. 512Gt)	32 Gt, SD-korttipaikka	8Gt (max. 32 Gt), µSD-korttipaikka (max. 32 Gt)	Tallennus
1x USB	2x µUSB	3x USB, 1x µUSB	1x USB	2x USB + µUSB	USB liittymät
1x HDMI	1x HDMI	1x HDMI	1x HDMI	1x HDMI	Käyttöliittymät
-	-	3.5 mm kuulokelityntä	-	-	Audio lähtö
-	-	1	-	-	Ethernet / RJ45
Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Wi-Fi
Bluetooth 4.0	Bluetooth 4.0	Bluetooth 4.0	Bluetooth 4.0	Bluetooth 4.0	Bluetooth
1x µSD korttipaikka	-	TF -korttipaikka	-	IR -vastaanotin	Muuta
179,90 €	\$1-100, min. 500 kpl	A300 sarja alkaen \$109	£ 129,99	\$ 100,00	Hinta
http://www.intel.com/content/www/us/en/computerstick/intel-computerstick.html	http://www.alibaba.com/product-detail/2014-latest-Meeepad-Intel-Quad-Core_60038541335.html	http://multitouch.com/istick.html	http://shop.lenovo.com/gb/en/desktops/id-eacentre/stick-300/#tab-customize	http://linuxizmos.com/hdmi-stick-mini-pc-runs-android-on-quad-core-arm-cortex-a9/	Lähde

LIITE 2. Markkinoilla olevia yhden piirin laitteita

ThingseeONE	Raspberry Pi 2	Hibstreet PCZGO PC on a Stick	Beelink Pocket P2	Tuotenumero
ARM Cortex M3 CPU	900MHz quad-core ARM Cortex A7 CPU	Intel QuadCore	Intel BayTrail CR Z3537F	Proessori
512 kt Flash, 80 kt RAM, 16 kt EEPROM	1 Gt	2 Gt	2 Gt	Muisti
Thingsee OS	Ubuntu, Windows 10	Windows 8.1	Windows 8.1	Käyttöjärjestelmä
µSD (max. 128 Gt)	µSD kortti	32 Gt + SD kortti (max. 128 Gt)	32 Gt +TF kortti max. 64 Gt	Tallennus
1x USB 2.0	4x USB, 1x µUSB	1x USB, 1x µUSB	1x USB, 2x µUSB	USB liittymät
Oma näyttö, ei liityntää	HDMI	HDMI	1x HDMI	Näyttöliityntä
-	3.5mm audio lähtö	-	-	Audio lähtö
-	Kyllä	-	Kyllä	Ethernet / RJ45
Kyllä	-	-	Kyllä	Wi-Fi
Bluetooth 4.0 BLE	-	Bluetooth 4.0	Bluetooth 4.0	Bluetooth
2.5G GSM/GPRS, A-GPS, Gyroskooppi, magnetomittari, kiihtyvyy-, ilmapaine-, valoisuus-, lämpö- ja kosteusanturi	SD korttipaikka, 40 GPIO	SD korttipaikka	TF korttipaikka	Muuta
299 €	£ 30,00	\$ 149,99	\$ 133,99	Hinta
http://www.thingsee.com/	https://www.raspberrypi.org/products/raspberrypi-2-model-b/	http://www.tigerdirect.com/applications/SearchTool/details.asp?EdpNo=972399&8&CatId=2313	http://www.ebay.com/itm/Beelink-Windows-8-1-Mini-PC-32GB-2GB-Wifi-HD-USB-Internet-Smart-TV-Stick-Dongle-/321730826426	Lähde

TULEVAISUUDEN INTERNET OF THINGS (IoT) MITTAUSYMPÄRISTÖT

Tässä selvityksessä tutustutaan Internet of Things (IoT) – esineiden internetin – laitteisiin, sovelluksiin ja mahdollisuuksiin. Esineiden Internet, jota kutsutaan myös asioiden internetiksi tai teolliseksi internetiksi, mahdollistaa tiedon keruun, analysoinnin ja hyödyntämisen yhdistämällä laitteet, järjestelmät ja ihmiset langattomasti käyttäen uusia sensori- ja yhteysteknologioita. Esineiden internetissä laitteet keräävät tietoa reaaliaikaisesti ja järjestelmät voivat analysoida sitä ihmisen toiminnan tueksi. Lisäksi esineiden internet mahdollistaa laitteiden etäohjauksen. Selvityksessä haetaan ymmärrystä ja näkökulmia IoT-ratkaisujen käyttömahdollisuuksiin erityisesti ajoneuvojen ja liikenneratkaisujen mittaussympäristöissä erilaisissa sää- ja käyttöolosuhteissa.

Suomen talvisissa olosuhteissa mielenkiinto kohdistuu sensoritekniikan luotettavuuteen ja toimivuuteen sekä sen tarjoamiin mahdollisuuksiin, erityisesti EVGA-hankkeen sähköisen liikenteen ekosysteemissä. Tarkastelun kohteena ovat myös IoT- järjestelmien tietoturva, sovellettavuus ja tulevaisuuden laitteiden kehityssuunnat.

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 6

ISBN 978-952-7173-00-8

ISSN 2342-933X