

Vili Toivonen

ESINEIDEN INTERNET

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaatintyö
Tammikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Vili Toivonen: Esineiden Internet
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Tammikuu 2023

Esineiden internetin ensimmäisenä pidetty sovellus oli käytössä jo arpanetin aikoina 1980-luvulla, vaikka termistä puhuttiin ensimmäisen kerran melkein 20 vuotta myöhemmin. Tästä ilmenee, että esineiden internet on itseasiassa konsepti, joka kuvaa monien eri teknologioiden yhdistelmien muodostamia järjestelmiä. Aiheen laajuudesta sekä teknologian nopeasta kehityksestä on seurannut se, että useista yrityksistä huolimatta esineiden internet on erittäin vaikeaa määrittellä kattavasti. Yksi tämän työn tarkoituksista onkin erotella tyyppillisen esineiden internetin järjestelmä selviin osa-alueisiin ja luoda katsaus niiden kehitykseen.

Vuonna 2018 internetiin yhdistettyjen laitteiden lukumäärän arvioitiin olevan noin 8 miljardia ja määrän kasvavan eksponentiaalisesti tulevina vuosina. On siis oletettavaa, että esineiden internetin vaikutukset näkyvät tulevaisuuden yhteiskunnissa erittäin laajasti.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoitus on myös luoda näkymä esineiden internetin mahdollistamiin teknologioihin, niiden kohtaamiin haasteisiin ja yhteiskunnallisiin kokonaisvaikutuksiin.

Työn lopputuloksena voidaan päätellä, että yhteiskuntien tasolla esineiden internetiä ei ole kyetty hyödyntämään vielä lähelläkään niin tehokkaasti, mitä teoriassa voisi olla mahdollista. Tähän pisteeseen päätymistä varjostaa kuitenkin suuri määrä erilaisia ongelmia, jotka pitää ratkaista.

Avainsanat: Esineiden internet, Anturit, Mobiiliverkot, Automatisoitu liikenne, Älykäs terveydenhuolto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. IOT:N PERUSTEET.....	3
2.1 Anturit ja yhdyskäytävät.....	4
2.2 Yhteydet.....	6
2.2.1 Mobiiliverkot.....	8
2.2.2 EC-GSM-IoT.....	10
2.2.3 NB-IoT.....	10
2.2.4 LTE-M a.k.a eMTC.....	10
2.2.5 Lähiverkko, Wi-Fi ja Ethernet.....	11
2.2.6 Bluetooth ja SigFox.....	12
2.3 Datan prosessointi.....	13
2.3.1 Pilvilaskenta.....	13
2.3.2 Reunalaskenta.....	15
2.3.3 Sumu- ja usvalaskenta.....	16
2.4 Käyttöliittymät.....	18
3. IOT:N MAHDOLLISTAMAT TEKNOLOGIAT.....	20
3.1 Esineiden internet terveydenhuollossa.....	20
3.1.1 Kehon alueen verkot.....	21
3.1.2 Kehon alueen verkon anturien energiatehokkuus.....	21
3.1.3 Hyödyt.....	22
3.2 Esineiden internet liikenneverkoston kehityksessä.....	23
3.2.1 Lisätty todellisuus.....	23
3.2.2 Autonomiset autot.....	25
3.2.3 Hyödyt.....	26
4. KESKEISIMMÄT ONGELMAT.....	28
4.1 Yleiset ongelmat.....	28
4.2 Esineiden internetin luomat haasteet terveydenhuoltoon.....	29
4.3 Esineiden internetin luomat haasteet liikenneverkostoon.....	30
5. YHTEENVETO.....	32
LÄHTEET.....	33

KUVALUETTELO

Kuva 1. IoT-järjestelmä, jossa on useita laitteita. Muokattu lähteestä [3].....	3
Kuva 2. Anturien ja pilven välissä käytetään usein yhdyskäytävää anturien ja pilven välillä. Muokattu lähteestä [5].....	5
Kuva 3. Havainnollistava kuva vaihtoehtoisten yhteysmuotojen vahvuuksista. Muokattu lähteestä [10].....	7
Kuva 4. DNA:n, Elisan ja Soneran 4G peittoalueet vuonna 2016 [6].....	8
Kuva 5. DNA:n ja Telian 4G-peittoalueet vuoden 2018 lopussa [8] ja [9].....	9
Kuva 6. Havainnollistava kuva langallisesta lähiverkosta. Muokattu lähteestä [14].....	11
Kuva 7. IoT-arkkitehtuuri, jossa datan prosessointiin käytetty pilveä. Muokattu lähteestä [23].....	14
Kuva 8. Esimerkki reunalaskentaan soveltuvista laitteista ja arkkitehtuurin sijainnista. Muokattu lähteestä [27].....	16
Kuva 9. Sumulaskennan arkkitehtuuri. Muokattu lähteestä [28].....	17
Kuva 10. Todellisen käytössä olevan IoT-järjestelmän käyttöliittymä.....	19
Kuva 11. Tyypillinen kehonalueen verkko. Muokattu lähteestä [31].....	21
Kuva 12. Sisälle rakennettu koejärjestely.....	24
Kuva 13. Kuljettajan näkymä kulmasta.....	24
Kuva 14. Tukiaseman kamerakuva kulman takaa.....	25
Kuva 15. Lisätyn todellisuuden tuoma näkymä kuljettajalle.....	25

LYHENTEET JA MERKINNÄT

3GPP	Third Generation Partnership Project
5G NR	5th Generation New Radio
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
BAN	Body Area Network
CAV	Connected autonomous vehicle
CHV	Chikungunya Virus
HEW	High Efficiency Wireless
IoE	Internet of Everything
IoT	Internet of Things
LAN	Local Area Network
LPWAN	Low-Power-Wide-Area Network
LTE-A	LTE Advanced
LTE	Long-Term Evolution
M2M	Machine-to-Machine
NB-IoT	Narrowband-IoT
NIST	National Institute of Standards and Technology
NFC	Near-Field Communication
RFID	Radio frequency Identification
SAE	Society of Automotive Engineers
URRLC	Ultra-reliable Low-Latency Communication
V2X	Vehicle-to-everything
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WSN	Wireless Sensor Network

1. JOHDANTO

Esineiden internet eli IoT on ollut terminä esillä jo hyvin monia vuosia ja vaikka ensimmäisenä pidetty IoT-laite kehitettiin jo vuonna 1982, IoT on vasta lähitulevaisuudessa tekemässä suurinta läpimurtoansa. Terminä esineiden internet esiintyi ensimmäisen kerran vuonna 1999 Kevin Ashtonin toimesta [1]. Aihe on viime aikoina ollut puheenaiheena hyvin suuren joukon keskuudessa, sillä rajattomien mahdollisuuksiensa johdosta se tulee vaikuttamaan jokaisen ihmisen elämään lähitulevaisuudessa. 1980-luvun alussa David Nichols istui yliopiston työhuoneessa ja harmitteli limuautomaatin kaukana olevaa sijaintia. Hän ei halunnut tehdä turhaa reissua automaatille, mikäli se olisikin tyhjä, tai siellä olisi vain lämpimiä juomia. David kehitti kahden kaverinsa kanssa järjestelmän, joka piti lukua limujen ostoista ja automaatin täytöstä. He yhdistivät koneen ARPANET:iin, silloiseen internetiin, muodostaen näin maailman ensimmäisen IoT-laitteen [2]. Tällainen laite on erittäin hyvä esimerkki yksinkertaisesta IoT-laitteesta, joka havainnoi ympäristöä ja lähettää havaintotiedon muualle. Teknologian kehitys, piirikorttien ja prosessoreiden koon pieneneminen ja halpeneminen, sekä langattomien verkkojen kehitys on kuitenkin mahdollistanut paljon monimutkaisempien järjestelmien kehityksen. Ihmiskunnan historiassa on koettu kolme teollista vallankumousta, ja IoT yhdessä 5G NR:n (5th Generation New Radio) ja niihin liittyvien sovellusten kanssa käynnistää neljännen.

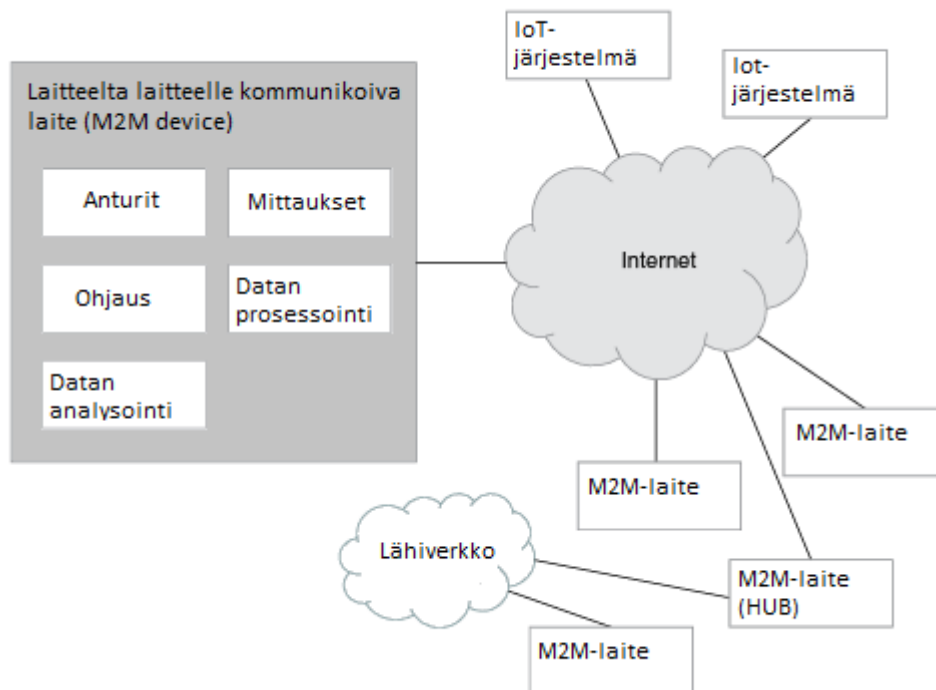
Internetiin yhdistettyjä laitteita on vuonna 2018 arvioitu olevan käytössä noin 8 miljardia ja sen arvioidaan nousevan eksponentiaalisesti tulevina vuosina [2]. Määrä kasvaa lähivuosien aikana merkittävästi, sillä suurin osa internetiin yhdistetyistä laitteista ei enää ole tavanomaisia tietokoneita ja puhelimia, kuten tällä hetkellä. Suurempi osa internetilaitteista tulee olemaan pieniä, ekonomisia ja osittain automaattisesti toimivia laitteita tai suurempiin järjestelmiin kuuluvia antureita ja ohjaimia. Eri arvioita tarkasta laitteiden lukumäärästä on paljon mutta varmaa on, että laitteiden määrä tulee olemaan erittäin suuri ja jatkuvasti kasvava [1, 3]. Kiihtyvä kehitys IoT-maailmassa luo optimistiset odotukset lähitulevaisuuden älykodeille, -kaupungeille, -sähköverkoille ja muille järjestelmille. Nopeasti yleistyvät IoT-laitteet ovat kuitenkin saaneet myös paljon kritiikkiä. Esimerkiksi tietoturvaongelmat ovat olleet paljon esillä esineiden internetistä puhuttaessa, mutta sitä aihetta käsitellään tarkemmin luvussa neljä. Tämän kandidaatintyön tarkoitus on tehdä selvitys siitä, mitä IoT on, mitä tulevaisuuden

mahdollisuuksia se tarjoaa, ja tarkastella millaisia ongelmia nopeasti kiihtyvä kehitys sekä kohtaa, että luo.

Toisessa luvussa käsitellään esineiden internetin perusasioita, mitä se on ja miten se toimii. Kolmannessa luvussa esitellään lähitulevaisuuden erittäin merkittäviä potentiaalisia esineiden internetin avustamia teknologioita. Neljäs luku on viimeinen ja siinä luodaan katsaus esineiden internetin kohtaamista yleisistä ongelmista, sekä luvussa kolme käsiteltyjen mahdollisten teknologioiden kohtaamista haasteista. Viimeisenä sisältöluokuna, eli viidentenä lukuna on yhteenveto, jossa tehdään päätelmiä edellä olevista aiheista ja lopuksi on lähdeluettelo.

2. IOT:N PERUSTEET

IoT (Internet of Things) eli esineiden internet on käsitteenä erittäin laaja-alainen. Suomenkielinen termi on kuitenkin hyvin kuvaava ja yksinkertaistettuna se voidaan määrittellä käsittämään tavallisia esineitä tai laitteita, jotka ovat yhdistetty internetiin. Niitä voivat olla esimerkiksi jääkaappi, kahvinkeitin, tulostin tai mikä tahansa muu tavallinen elektroninen laite [3, 12]. Internetiin yhdistettynä laitteet voivat lähettää dataa joko muille laitteille tai ihmiskäyttäjälle. Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen laajemmalla kuin kotiloissa toimiva IoT-arkkitehtuuri.



Kuva 1. IoT-järjestelmä, jossa on useita laitteita. Muokattu lähteestä [3].

Data voi olla esimerkiksi antureiden tekemiä mittauksia ympäristöstä tai tietoa laitteen omasta tilasta. Tämä mahdollistaa laitteiden valvonnan ja käyttämisen etänä. IoT-laitteet voivat toimia myös internet-yhteyden jakajina muille laitteille eli HUBeina ja tehdä toimintoja automaattisesti mittausten perusteella. Kodin kommunikoivat laitteet

voivat säädellä automaattisesti esimerkiksi valaistusta, lämpötilaa tai ilmastointia. Laitteet voivat myös sisältää anturit, datan prosessoinnin, analysoinnin ja ohjauksen. Kuitenkaan usein näin ei ole, vaan IoT-järjestelmät jaetaan neljään osa-alueeseen, jossa jokaisella laitteella on oma tehtävänsä. Näistä neljästä osa-alueesta kerrotaan tarkemmin tulevissa alaluvuissa.

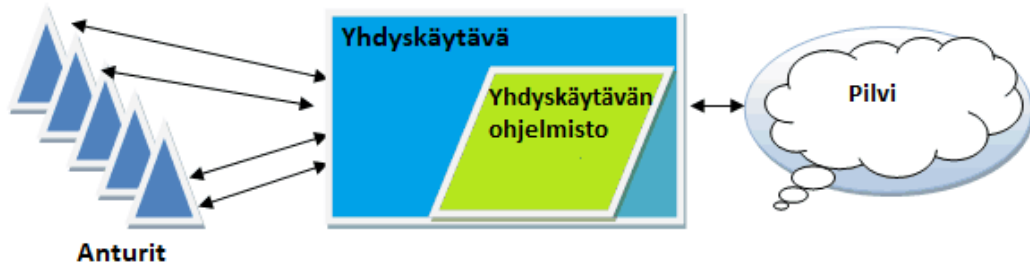
Esineiden internetin aikaansaamat tärkeimmät hyödyt ovat siis ihmisten elämän helpottaminen ja energiatehokkuus. IoT:n sovelluskohteet eivät kuitenkaan rajoitu kodin sisälle, vaan sovelluskohteita on rajattomasti. Älykodeista päästään muun muassa älykaupunkeihin, älykkäisiin sähkönsiirtoverkkoihin, älykkääseen terveydenhuoltoon, sekä automaattisiin liikennevälineihin, kuten esimerkiksi juniin, laivoihin tai autoihin [12, s. 9-10].

Vaikka erilaisia IoT-järjestelmiä on lukemattomia, niissä kaikissa esiintyy seuraavat neljä eri osatekijää, joita ovat anturit/laitteet, yhteydet, datan prosessointi ja käyttöliittymä. Nämä neljä tekijää käydään yksitellen läpi hieman tarkemmin seuraavissa alaluvuissa.

2.1 Anturit ja yhdyskäytävät

Ensimmäisenä osana jokaisessa IoT-järjestelmässä ovat tietenkin anturit. Anturien tehtävänä on kerätä dataa ympäristöstä. Data voi olla lähes mitä vain, mittauksia ympäristön lämpötilasta, kosteudesta, paikkatietoja laitteen sijainnista tai esimerkiksi videokuvaa kodin turvajärjestelmälle. Koska erilaisia järjestelmiä on lukemattomia, myös antureita on hyvin monia erilaisia. Ne eroavat ominaisuuksiltaan toisistaan, riippuen siitä, millaista dataa niiden on tarkoitus kerätä, onko niitä lukumäärältään paljon, kuluttavatko ne paljon energiaa ja millaiseen ympäristöön ne on sijoitettu. Yksi tärkeimmistä anturien ominaisuuksista on virrankulutus. Anturit kuluttavat virtaa datan keräämiseen, sen lähetykseen ja niin kutsuttuihin sykeviesteihin. Sykeviestien tarkoitus on ilmoittaa säännöllisin väliajoin, että laite on toimintakykyinen. Koska useimmissa järjestelmissä antureita on runsaasti ja ne on sijoitettu etäälle, ne saavat virtansa jokaisessa anturissa olevasta paristosta tai akusta. Virran loppuessa anturit on korvattava tai ladattava manuaalisesti. Tämä vaatii runsaasti ylläpitotyötä ja sen välttämiseksi anturien on oltava ekonomisia ja niiden virrankulutus mahdollisimman vähäistä. Suurin osa langattomien anturien virrasta kuluu datan lähettämiseen eteenpäin. Mitä kauempana anturit sijaitsevat vastaanottimesta, sitä enemmän virtaa

kuluu datan lähetykseen. Tästä syystä monissa sovelluksissa käytetään yhdyskäytävää anturien ja pilven välillä.



Kuva 2. Anturien ja pilven välissä käytetään usein yhdyskäytävää anturien ja pilven välillä. Muokattu lähteestä [5].

Sovelluksissa, joissa antureita on paljon ja ne on sijoitettu kauas, on järkevää käyttää yhdyskäytävää. Kuten kuvasta kaksi nähdään, järjestelmän arkkitehtuurissa yhdyskäytävä sijoittuu anturien ja pilven väliin välittäen dataa. Esimerkiksi maan kosteutta mittaavat anturit maatalan pellolla tulee kestää vaihtamatta vuosia. Anturien virrankulutus vähenee merkittävästi, kun ne lähettävät keräämänsä informaation lyhyen matkan päässä sijaitsevalle yhdyskäytävälle, joka lähettää datan eteenpäin. Yleensä anturien keräämästä datasta myös suuri osa on turhaa, jolloin yhdyskäytävä voi tehdä osan datan prosessoinnista ja suodatuksesta. URLLC-sovelluksissa järjestelmät ovat hyvin viiveherkkiä ja yhdyskäytäviä voidaan käyttää myös nopeiden toimintojen suorittamiseen datan perusteella tarpeen vaatiessa. Tällaisia järjestelmiä voisi olla esimerkiksi automaattisesti toimivat autot ja liikenne.

Kuten aikaisemmin todettiin, erilaisia antureita on hyvin paljon riippuen niiden käyttökohteista. Antureita voidaan erilaisissa järjestelmissä sijoittaa autoihin, luontoon, siirtoverkkoihin, tehtaisiin tai rakennuksiin. Terveystieteiden puolella IoT-järjestelmät tuovat myös paljon uusia mahdollisuuksia. Hyvänä esimerkkinä erittäin kehittyneistä ja spesifeistä antureista ovat kehon sisä- ja ulkopuolelle sijoitettavat anturit (Wearable IoT-sensors), jotka esimerkiksi mahdollistavat terveysarvojen seurannan etänä. Tällaisten antureiden avulla on mahdollista kehittää järjestelmiä, jotka diagnosoivat tiettyjä sairauksia etänä ja automaattisesti. Tämän tyyllisiä järjestelmiä onkin ollut jo kehitteillä. Yhtenä esimerkkinä voidaan ottaa erittäin monimutkainen järjestelmä, jonka yhtenä tehtävänä on diagnosoida CHV-tartuntoja (Chikungunya virus) [4]. On selvää,

että kehon sisälle sijoitettavat anturit tulee olla hyvin pieniä, vähän energiaa kuluttavia, langattomia, sekä terveydelle vaarattomia.

Yleensä anturit ja laitteet yhdessä käsittävät IoT-järjestelmien yhden osa-alueen neljästä, sillä sensorit voivat olla osana jotain laitetta, joka pystyy tekemään muutakin kuin vain kerätä tietoa ympäristöstä. Esimerkiksi jokaisen taskusta löytyvä älypuhelin on tällainen. Sillä pystyy keräämään dataa ympäristöstä (video,ääni,paikannustiedot), mutta laitteen käyttö ei rajoitu siihen. On anturi sitten itsestään toimiva, tai osana muuta laitetta, kerätty data täytyy kuljettaa pilveen, jotta sen perusteella voidaan suorittaa erilaisia toimintoja. Seuraavana käsitellään yhteyttä anturien ja pilven välillä.

2.2 Yhteydet

Seuraavana osana anturien jälkeen IoT-järjestelmissä ovat yhteydet. Kun anturit ovat keränneet tarkoituksenmukaisen datan, se on välitettävä jotain yhteyttä pitkin pilveen. Pilvi on abstrakti käsite, joka tarkoittaa ulkoistettuja laskentatehokkaita tietokoneita tai servereitä, joissa datan prosessointi on kannattavaa tehdä taloudellisista syistä. Pilveen tutustutaan tarkemmin datanprosessoinnin yhteydessä alaluvussa 2.3 [11].

Vaihtoehtoisia tapoja datan siirtämiseen on useita ja eri IoT-järjestelmissä niitä kaikkia käytetään (toisia enemmän kuin toisia) riippuen siitä, mikä tapa on optimaalisin sovellukselle ja sen ympäristölle. Optimaalisinta olisi, että yhteysmuoto olisi vähän virtaa kuluttava, suurelle etäisyydelle kantava (langaton) ja kykenevä välittämään suuria datamääriä eli toisin sanoen suurta kaistanleveyttä käyttävä. Tällaista yhteysmuotoa ei kuitenkaan ole olemassa, joten on tehtävä kompromisseja ja mietittävä mikä ominaisuus on sovellukselle tärkein. Seuraavan sivun kuvassa 3 havainnollistetaan eri yhteysmuotojen vahvuuksia ja heikkouksia. Tarkastelussa olevat yhteysmuodot ovat LPWAN (Low Power Wide Area Network), mobiiliverkot (2G, LTE, 5G), sekä lyhyen kantaman yhteydet (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

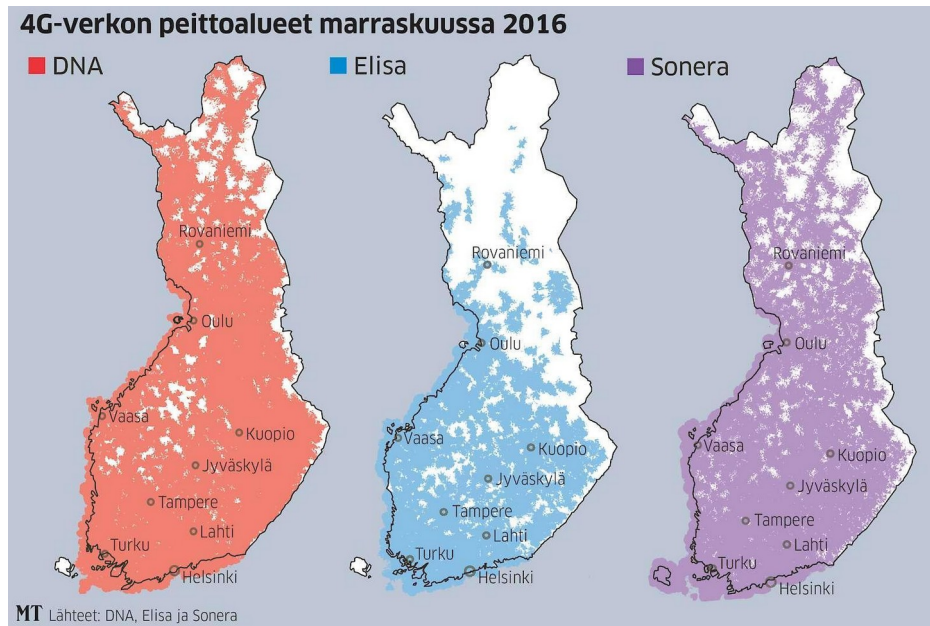


Kuva 3. Havainnollistava kuva vaihtoehtoisten yhteysmuotojen vahvuuksista. Muokattu lähteestä [10].

Kuten edellä huomataan, yleensä lyhyen kantaman yhteydet kuluttavat vähän energiaa, mutta datansiirtonopeudet ovat pieniä. Suuremmat datanopeudet ja laajempi kattavuus taas lisäävät merkittävästi energian kulutusta. Eri datayhteysvaihtoehtoja ovat siis ethernet, LTE-mobiiliverkko, tulevaisuudessa 5G-verkot ja NB-IoT [13, s.268], satelliitti-internet, WiFi (Wireless Fidelity), Bluetooth, ZigBee, RFID (Radio Frequency Identification), NFC (Near-Field Communication) ja LPWAN (Low-Power-Wide-Area-Network) [3, s.121]. Ethernet yhdistää laitteet lähiverkkoon kaapeleiden välityksellä, joten on selvää, että tämä metodi IoT-anturien yhdistämiseen on hyvin rajoitteinen. Ethernet kaapeliyhteyttä ei kuvassa edes ole mainittu, sillä se on IoT-maailmassa hyvin harvinainen. Nykyään langattomat yhteydet ovat yhtä nopeita, joten on intuitiivista käyttää IoT-järjestelmissä mieluummin langatonta yhteyttä. Kaikki muut edellä mainituista yhteysmuodoista ovat langattomia ja niistä tärkeimpiä käsitellään seuraavaksi yksitellen omilla alaluvuissaan.

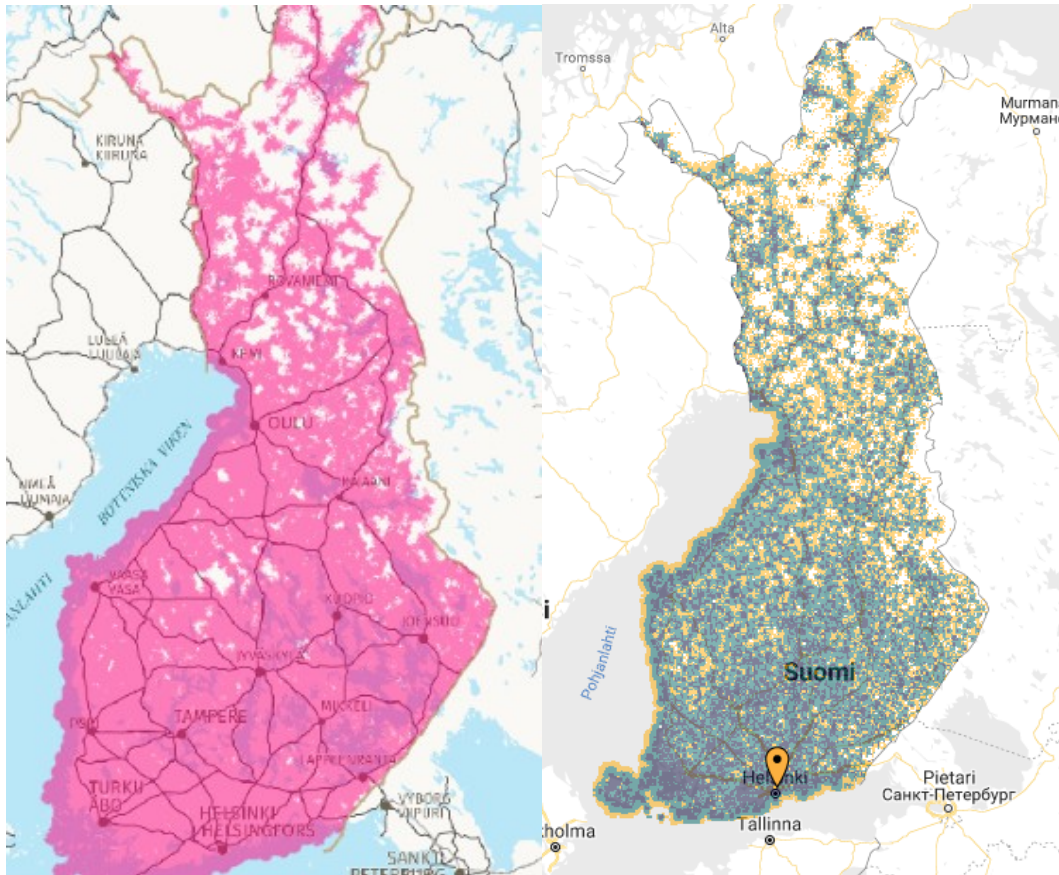
2.2.1 Mobiiliverkot

Tällä hetkellä käytössä oleva 4G LTE on erittäin hyvä ja toimiva tapa yhdistää älypuhelimia internetiin. Yhteys tarjoaa käyttäjille nykyään erittäin suuria siirtonopeuksia ja lähes jokapuolella suomea, sillä 4G-verkon peittoalue kattaa nykyään lähes koko Suomen. Kuvassa 4 on esitetty Suomen suurimpien palveluntarjoajien 4G-verkon peittoalueita vuodelta 2016.



Kuva 4. DNA:n, Elisan ja Soneran 4G peittoalueet vuonna 2016 [6].

Jo vuonna 2016 suomessa 4G-verkko kattoi lähes koko maan, jolloin Suomi sijoittui maailmassa 11. sijalle 4G-verkon kattavuudessa [7]. Viime vuosina kattavuus ei ole merkittävästi kasvanut, minkä seurauksena sijoitus maailmantilastoilla verkon kattavuudessa vuoden 2018 marraskuuhun mennessä laski sijalle 24. Vertailun vuoksi kuvassa 5 on esitetty DNA:n ja Telian peittoalueet myös vuodelta 2018.



Kuva 5. DNA:n ja Telian 4G-peittoalueet vuoden 2018 lopussa [8] ja [9].

Sijoituksen laskua voi perustella sillä, että jo vuonna 2016 kattavuus tavoitti lähelle 100% suomessa asuvista ihmisistä, jolloin uusia tukiasemia on taloudellisesti ajateltuna kannattamatonta asentaa. Sijoitukseen vaikuttaa myös muiden maiden kehitys 4G-verkkojen kattavuudessa.

IoT-järjestelmien datansiirtoon 4G-verkot soveltuvat hyvin, jos datamäärät ovat suuria ja sovellus vaatii suuren datasiirtonopeuden. Suurien datamäärien lähetys vaatii kuitenkin paljon energiaa, jolloin IoT-laite pitäisi olla yhteydessä verkkovirtaan. Suurin osa IoT-laitteista on kuitenkin pieniä, yksinkertaisia ja oman paristonsa varassa, jolloin mobiiliverkko yhteytenä ei usein ole järkevin ratkaisu. Mobiiliverkot ovat silti IoT-järjestelmissä tärkeässä osassa, sillä yhdyskäytävät kuvassa 2 usein käyttävät mobiiliverkkoa paluulastin (engl. backhaul) siirtämiseen. Seuraavaksi esitetään kolme eri mobiiliverkkoihin pohjautuvaa yhteysstandardia, jotka järjestyksessään parantuvat toiminnoiltaan ja datansiirtonopeuksiltaan, mutta vaativat edellistään enemmän energiaa

2.2.2 EC-GSM-IoT

EC-GSM-IoT eli laajennetun kattavuuden GSM-IoT esiteltiin 3GPP-julkaisussa 13 [19]. Käytännössä tarkoituksena on hyödyntää jo rakennettua 2G-verkkoa, joka on levinnyt maailmanlaajuisesti jo lähes kaikkialle. Muutokset perinteiseen 2G-infrastruktuuriin ovat vähäiset, lähinnä kantavuuden ja energiatehokkuuuden parantaminen nykystandardien tasolle ja ne päivitykset voidaan tehdä sovelluspohjaisesti vaihtamatta jo asennettuja laitteistoja. GSM-verkot soveltuvat hyvin sellaisenaankin moniin IoT-sovelluksiin, sillä kantama on erittäin suuri ja energian kulutus vähäistä datansiirtonopeuksien ollessa pieniä.

Näistä syistä EC-GSM-IoT on hyvä vaihtoehto IoT-sovellutuksen yhteyksien rakentamiseen, mutta tällä hetkellä enemmän huomiota saa NB-IoT sekä LTE-M sillä 2G-verkkojen lakkautusta on harkittu vähäisen käyttöasteen vuoksi. [20]

2.2.3 NB-IoT

NB-IoT esiteltiin EC-GSM-IoT:n ohella samassa 3GPP-julkaisussa 13, [19] joka myös pohjautuu mobiiliverkkoratkaisuihin tärkeimpänä sovelluksinaan nimensä mukaisesti IoT. NB-IoT tarjoaa myös suurta kantamaa sekä energiatehokkuutta maksamalla hinnan datansiirtonopeuksissa. Suurin eroavaisuus EC-GSM-ratkaisuun on NB-IoT:n toiminta LTE:n pinnalla, jolloin sen kehityksen jatkuvuus on paljon varmempaa kuin EC-GSM:n. [21]

2.2.4 LTE-M a.k.a eMTC

Kolmantena esimerkkinä mobiiliverkkoihin pohjautuvista erikoistuneista yhteyksistä on hyvä ottaa LTE-M, joka myöskin pohjautuu LTE-standardiin ja on muokattu soveltumaan paremmin M2M (Machine-to-machine) eli laitteiden väliseen kommunikaatioon. Verrattuna edelliseen esimerkkiin NB-IoT, LTE-M ei ole yhtä kevyt ratkaisu. [21] LTE-M on lähempänä perinteistä LTE-standardia ja tukee useampia toiminnallisuuksia, kuten esimerkiksi katkeamattoman yhteyden takaamista suurissakin nopeuksissa olevalle kohteelle, sekä suurempia datansiirtonopeuksia. Tästä syystä energian kulutus on luonnollisesti merkittävästi suurempi.

2.2.5 Lähiverkko, Wi-Fi ja Ethernet

Wi-Fi (Wireless Fidelity) tarkoittaa käytännössä langatonta lähiverkkoa (engl. Wireless LAN eli WLAN (Wireless Local Area Network)). Lähiverkkojen konsepti on ollut olemassa jo ARPANETin, eli Internetin esiasteen aikoina. Internetin yleistymisen myötä yleistyi myös lähiverkot kodeissa ja yrityksissä. Teknologian kehitys on vienyt lähiverkot langattomaan maailmaan ja nykyään langaton reititin löytyy lähes jokaisesta kodista. Tyypillisen langallisen lähiverkon verkkotopologia esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Havainnollistava kuva langallisesta lähiverkosta. Muokattu lähteestä [14].

Langattomien lähiverkkojen verkkotopologia on nykyäänkin samanlainen, mutta ethernet-verkkokaapeleita ei ole välttämätöntä käyttää. Wi-Fin kuluttajille suunnattu standardi IEEE 802.11a julkaistiin vuonna 1997, joten suurin osa tämän vuosikymmenen reitittimistä, tietokoneista ja laitteista mahdollistaa laitteiden kytkemisen lähiverkkoon langattomasti Wi-Fin avulla. Langalliset yhteydet takaavat ehkä varmemman tiedonsiirtoyhteyden, mutta kodin läheisyydessä myös langattomat yhteydet ovat nykyään erittäin varmoja. Tiedonsiirtonopeus toisessa IEEE:n

määrittelemän spesifikaation lisäyksessä 802.11b vuonna 1999 teoreettinen maksiminopeus oli 11 Mbps. Kymmenen vuotta myöhemmin julkaisussa 802.11n (nykyisin nimetty helpommin ymmärrettäväksi Wi-Fi 4:ksi) teoreettinen nopeus oli 450 Mbit/s [15] ja uusimmassa 2019 vuoden lopulla julkaistavassa versiossa 802.11ax (ts. Wi-Fi 6) nopeuden luvataan yltävän noin 10 Gbit/s nopeuksiin. Tiedonsiirtonopeudet Wi-Fi:ssä on saatu viime vuosien aikana jo niin suurelle tasolle, että kehitys keskittyy tällä hetkellä enimmäkseen palvelun laatuun eikä suurempiin teoreettisiin tiedonsiirtonopeuksiin [16]. Vertailun vuoksi uusimmassa ethernet standardissa IEEE 802.3ct saavutettiin 400 Gbit/s siirtonopeudet yli kymmenen kilometrin matkalle [17]. Tällaiset siirtonopeudet ovat kuitenkin niin suuria, että on vaikeaa kuvitella yksityiskäyttäjälle sovelluskohteita, joissa tällaisia siirtonopeuksia olisi tarvetta saavuttaa. Kehitys on kuitenkin tulevaisuutta ajatellen hyvä.

IoT-järjestelmiä ajatellen lähiverkkoratkaisussa hyvää on datansiirtonopeudet, ja huonoja puolia ovat etäisyydet ja energian kulutus. Langattoman lähiverkon kantama on nykystandardeilla noin 30 metriä riippuen ympäristössä olevista esteistä, kuten seinistä ja muista fyysisistä objekteista, sekä häiriön määrästä. Tästä voidaankin päätellä, että Wi-Fi ja Ethernet ovat hyviä ratkaisuja talon sisällä olevien IoT-laitteiden parissa, jotka voidaan kytkeä verkkovirtaan ja joissa energiankulutus ei ole ongelma. Tällaisia sovelluksia onkin olemassa ja hyvänä esimerkkinä tästä on talon turvakamerajärjestelmä, jossa valvontakamerat on kytketty verkkovirtaan ja Internetiin.

WLAN vaihtoehtoa on myös alettu kehittämään paremmin IoT yhteensopivaksi. Uudet Wi-Fi HaLow (standardi IEEE 802.11ah) on kehitetty ja HEW (High Efficiency Wireless, standardi 802.11ax) on kehitteillä yksinomaan IoT-sovelluksia varten. Niiden suurin tavoite on lisätä tiedonsiirron kantamaa ja vähentää energiankulutusta, jolloin langattomasta lähiverkosta muodostuisi varteenotettava vaihtoehto suositumpien ratkaisujen joukossa.

2.2.6 Bluetooth ja SigFox

Bluetooth ja Sigfox ovat esimerkkejä yhteyksistä, jotka hyödyntävät lisensoimatonta taajuusaluetta, jolloin sen käyttö on vapaata kaikille. Koska taajuusalueen käytöstä ei tarvitse erikseen maksaa lisenssimaksuja, sen käyttö on teknologiaa hyödyntäville halpaa. Lisensoimattomasta taajuusalueen käytöstä seuraa myös toinen merkittävä etu. Tyypillisesti operaattori, joka on maksanut tietyn taajuusalueen käytöstä, haluaa saada maksimaalisen määrän asiakkaita, jotka käyttävät kyseistä taajuusaluetta

kommunikoidakseen laitteillaan. Tästä seuraa suuri määrä langatonta dataliikennettä samalla taajuudella, jolloin kaikki osapuolet häiritsevät toistensa langatonta viestintää. Lisensoimattomalla taajuusalueella liikennettä on vähän, jolloin toimintavarmoja yhteyksiä on paljon helpompi rakentaa [22]. Sigfox on suunniteltu suuriin kantamiin ja erittäin pieniin datansiirtonopeuksiin (100-600bps) vähäisellä energian kulutuksilla, jolloin se on erittäin optimaalinen vaihtoehto moniin IoT-sovelluksiin ja esimerkiksi älykaupunkien toimintoihin. Bluetooth puolestaan on lyhyen kantaman ratkaisu, mutta sen datansiirtonopeudet (1-3 Mbps) ovat erittäin merkittävästi suuremmat kuin Sigfoxilla. BLE eli bluetooth low energy on matalan energiankulutuksen versio bluetoothista, jolloin BLE on hyvä vaihtoehto lyhyen kantaman IoT-sovelluksille. Tällaisesta esimerkkinä voisi toimia älykello, joka on bluetoothia hyödyntäen yhteydessä yhdyskäytävään eli tässä tapauksessa kännykkään.

2.3 Datan prosessointi

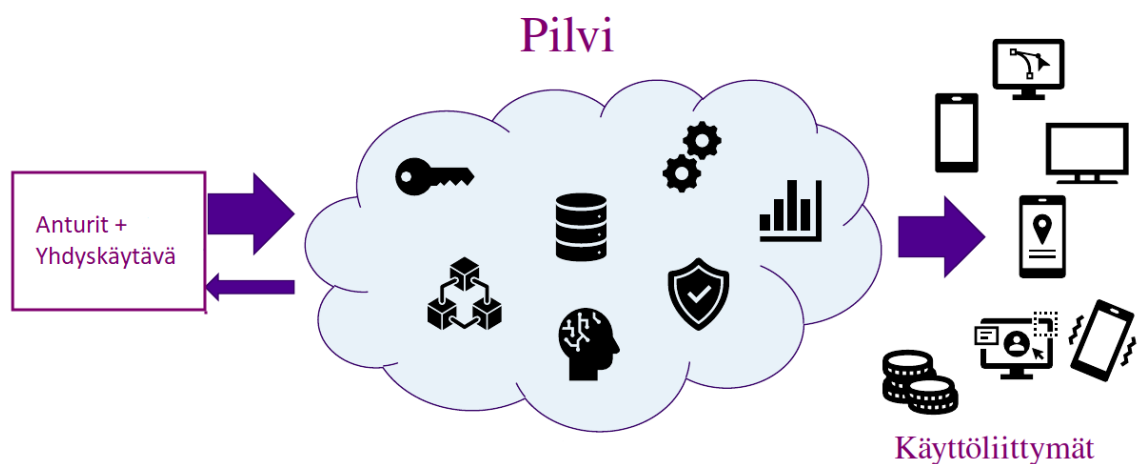
Datan prosessointi on kenties jokaisen IoT-järjestelmän tärkein osuus. Anturien keräämän datan pohjalta on tärkeää tehdä tilanteen vaatimia toimintoja ja ratkaisuja. Siinäkin tapauksessa, että datan pohjalta ei tehdä mitään automatisoituja toimintoja, tulee data prosessoida tapauskohtaisesti helposti analysoitavaan muotoon. Esineiden internetin käyttökohteet kehittyvät kuitenkin jatkuvasti enemmän reagoivampaan suuntaan. [23]

Koska erilaisten IoT-järjestelmien vaatimukset poikkeavat toisistaan hyvin paljon, on olemassa määritelmästä riippuen kolme tai neljä erilaista arkkitehtuuria, miten datan prosessointi järjestelmässä on suunniteltu. On selvää, että järjestelmässä, jossa seurataan pellon kosteuspitoisuuksia ja kerätyn datan perusteella sadetimet käynnistyvät, datan prosessointi ei ole kovin haastavaa eikä aikakriittistä. Toisessa ääripäässä voidaan kuvitella järjestelmä, missä automaattisesti ohjautuva auto saa suoraa kameran kuvadataa risteyskulman takana olevasta liikenteestä tai tilanteesta suorittaen näiden perusteella vaadittavat toimenpiteet. Edellä mainitut kolme arkkitehtuuria luokitellaan sen perusteella, missä datan prosessointi tapahtuu. Kaikissa on luonnollisesti omat positiiviset ja negatiiviset ominaisuudet ja seuraavissa aliluvuissa esitellään lyhyesti kaikki arkkitehtuurit.

2.3.1 Pilvilaskenta

Pilvilaskenta on monimutkainen kokonaisuus, jonka määrittely on aiheuttanut paljon keskustelua johtuen siitä, että pilvi terminä pitää määritelmästä riippuen sisällään eri määrän teknologioita ja palveluja. NIST (National Institute of Standards and Technology) kuitenkin määrittelee pilvilaskennan olevan malli, joka mahdollistaa käytännöllisen, kaikkialla saatavilla olevan pääsyn laskentaresursseihin muun muassa servereihin, datan varastointiin, sovelluksiin ja palveluihin tarpeen vaatiessa. Resurssit voidaan ottaa käyttöön ja vapauttaa nopeasti minimaalisilla hallintovaatimuksilla. [24]

Tiivistetyksi pilvilaskenta on ulkoistettu palvelu, missä yhtiö omistaa suuren määrän servereitä ja korkean laskentatehon yksiköitä, joita se vuokraa asiakkailleen rahallista korvausta vastaan. Tällaisia yhtiöitä ovat esimerkiksi Google ja Amazon. IoT-järjestelmiä ajatellen pilvilaskenta on tehokas keino suorittaa datan prosessointi. Tyypillisesti suuri osa IoT-sovelluksista kerää valtavan määrän dataa, jonka prosessointi vaatii suuria laskentatehoja. Pilvipalvelut tarjoavat myös keinon suuren datamäärän varastointiin. Pilvipalvelujen suurin hyöty seuraa mahdollisuudesta käyttää erittäin tehokkaita laskentayksiköitä ja datan varastointia joustavasti tarpeen mukaan. Monissa tapauksissa datan prosessointiin käytettävää laitteistoa ei ole taloudellisesti perusteltua rahoittaa yksittäisen IoT-järjestelmän käyttöön. [25] Pilveä hyödyntävän IoT-järjestelmän arkkitehtuuri on mallinnettu kuvassa 7.



Kuva 7. IoT-arkkitehtuuri, jossa datan prosessointiin käytetty pilveä. Muokattu lähteestä [23].

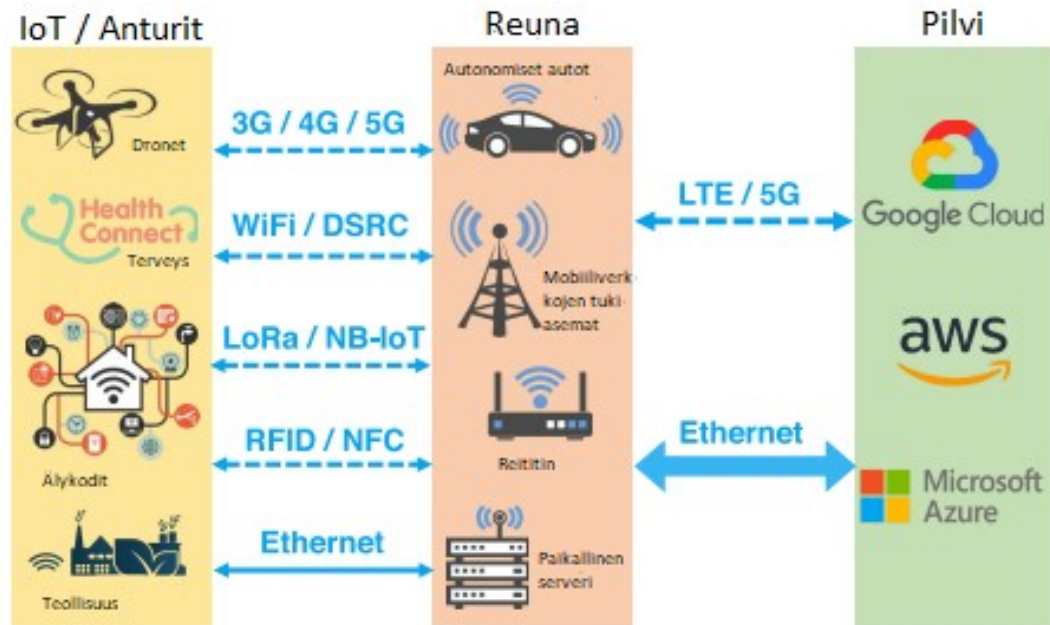
Pilvilaskennan tapauksessa kuvasta voidaan havaita selvästi tyypillisen IoT-järjestelmän datansiirtoketju. Ensin anturit keräävät datan, joka välitetään

yhdyskäytävälle, jonka kautta data välitetään edelleen prosessoitavaksi ja säilytykseen. Pilven prosessoimaa dataa voidaan havainnoida käyttöliittymän avulla ja mahdollisesti vaikuttaa myös datan perusteella tehtäviin toimintoihin. On hyvä myös huomioida, että kaikissa järjestelmissä ei kuitenkaan välttämättä ole kaikkia tyypillisen IoT-järjestelmän osia. Kuvasta ilmenee myös yksi pilvilaskentaan liittyvistä ongelmista. Yleensä pilvipalvelun serverit sijaitsevat maantieteellisesti kaukana kohteesta, josta data on kerätty, jolloin järjestelmään syntyy ylimääräistä viivettä. Joissain erittäin viiveherkissä sovelluksissa (URLLC) määritelmän [26] mukaan viive saa maksimissaan olla 5 millisekuntia. Pilvipalvelimen ollessa esimerkiksi 1000 km päässä kohteesta, pelkästään valonnopeuden rajallisuudesta johtuen matkasta aiheutuu 7ms viive. Yleensä IoT-järjestelmissä datan hyödyntäminen ratkaisujen ja toimintojen aikaansaamiseksi vaatii myös edestakaisen matkan. Siksi URLLC-sovelluksissa reunalaskenta on hyvä vaihtoehto, josta kerrotaan tarkemmin seuraavassa aliluvussa.

Pilvilaskennan muita heikkouksia ovat turvallisuus- ja yksityisyysriskit datan luovutuksessa kolmannelle osapuolelle, ongelmat datan omistajuudesta ja vastuusta, sekä riippuvuus kolmannen osapuolen toimintavarmuuslupauksista. [25]

2.3.2 Reunalaskenta

Reunalaskennassa datan prosessointi tapahtuu verkon reunalla, eli ensimmäisellä tasolla, johon anturit tai esineet ovat yhteydessä [27]. Lähiverkkojen tapauksessa laite olisi reitin tai modeemi ja mobiiliverkkojen tapauksessa lähin tukiasema.



Kuva 8. Esimerkki reunalaskentaan soveltuvista laitteista ja arkkitehtuurin sijainnista. Muokattu lähteestä [27].

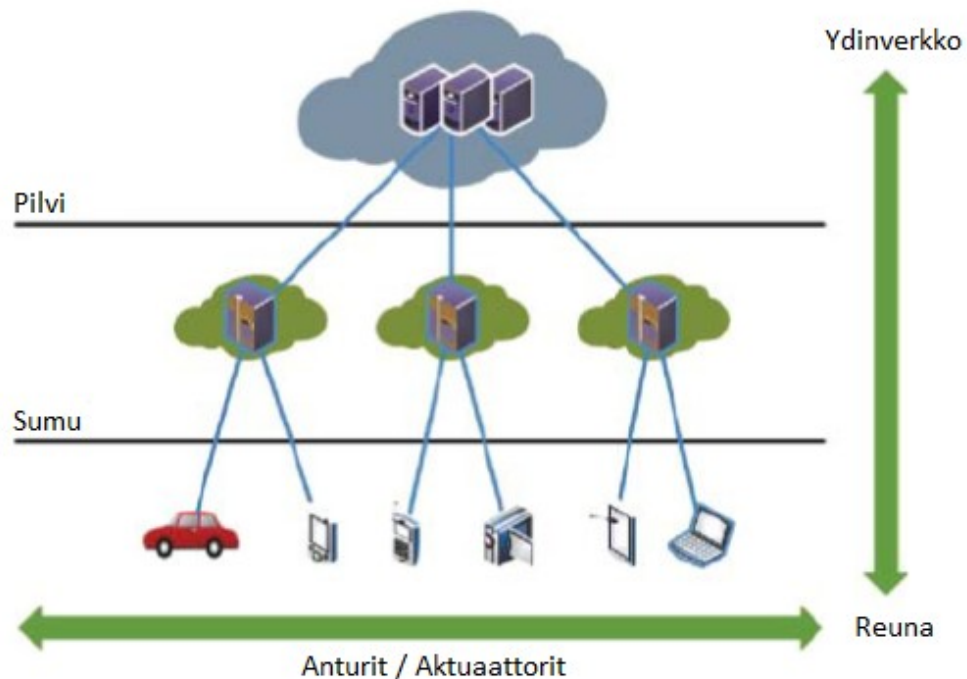
Kuvasta 8 huomataan jälleen, että IoT:n sovelluskohteet ovat moninaisia ja eri sovelluksissa esiintyy erilaisia laitteistoja, jotka kommunikoivat keskenään sovelluksen vaatimilla kommunikaatioprotokollilla. Tärkeämpänä havaintona voidaan kuitenkin todeta, että verkkotopologian näkökulmasta reunalla sijaitsevat laitteet sijaitsevat yhden askeleen lähempänä kuin pilvipalvelimet. Sen lisäksi maantieteelliset etäisyydet ovat monta kertaluokkaa pienemmät anturien ja reunan välillä verrattuna etäisyyteen anturien ja pilven välillä. Paikalliset datan prosessointiyksiköt mahdollistavat nopean reagoinnin kerätyn datan perusteella. [27]

Reunalaskenta sopii hyvin myös sovelluksiin, missä datan prosessointi ei vaadi kovin suurta laskentatehoa, tai kerättävää dataa säilöttäväksi ei kerry suuria määriä. Reunalaskenta kykenee kyllä siihenkin, mutta systeemin kompleksisuus ja hinta, mitkä ovat reunalaskennan suurimmat haittapuolet, kasvaa merkittävästi.

2.3.3 Sumu- ja usvalaskenta

Vaikka reunalaskenta ja pilvilaskenta ovat molemmat datan prosessointiin soveltuvia ratkaisuja ne eivät kuitenkaan ole toisiaan poissulkevia vaihtoehtoja, vaan ratkaisuja voidaan käyttää toisiaan täydentävästi. Tällaisella menettelyllä voidaan hyödyntää molempien vaihtoehtojen parhaat puolet. Sumulaskenta termiä käytetään hieman vapaasti ja sen yksityiskohtainen määrittely riippuu hieman lähteestä, mutta

yksinkertaistettuna molempia reuna- ja pilvilaskentaa hyödyntävää järjestelmää voisi kutsua sumulaskentaa hyödyntäväksi järjestelmäksi. Tällaisessa järjestelmässä tarvitaan laitteita reunan ja pilven väliselle rajapinnalle ja niiden tehtävä on vastaanottaa kaikki reunalaskennan prosessoima data. Sen jälkeen sumurajapinnassa suodatetaan datasta tärkein osuus ja lähetetään se varastoitavaksi tai jälkiprosessoitavaksi pilveen. Sumurajapinnassa voidaan myös varastoida joko kaikki, tai tärkeimpänä pidetty data. Sumurajapinnan laitteisto voi myös tehdä osan datan prosessoinnista, jolloin se kykenee täyttämään pilvilaskennan määritelmän tehtäviensä osalta ja miksi sitä joskus kutsutaankin minipilveksi. Suurin ero pilvilaskentaan tällöin onkin sen maantieteellinen sijainti suhteessa verkon reunaan. [28] Kuvassa 9 on esitetty tyypillinen sumulaskennan arkkitehtuuri.



Kuva 9. Sumulaskennan arkkitehtuuri. Muokattu lähteestä [28].

Vertailemalla kuvia 8 ja 9 voidaan havaita, että eri lähteissä myös reunan sijainti on hieman liukuva käsite. Toisinaan reunan ajatellaan olevan verkon todellinen reuna, jossa sijaitsevat anturit ja aktuaattorit. Reunalaskennassa reuna määritellään kuitenkin tyypillisesti verkon reunimmaisiksi virtuaalisiksi tai maantieteelliseksi sijainniksi, missä datan prosessointia tapahtuu.

Sumulaskennan suurin etu on datan prosessoinnin ja laskentatehon tuonti lähemmäksi sitä hyödyntäviä laitteita, antureita ja aktuaattoreita, jolloin datan siirrosta aiheutuvat

viiveet voidaan minimoida. Samalla suurien datamäärien prosessointi on helpompi toteuttaa sumulaskennalla reunalaskennan ohella, sillä datan prosessointi on mahdollista toteuttaa allokoimalla laskentateho paremmin sovelluksen vaatimalla tavalla. Isoimmat ongelmat syntyvät kasvavasta systeemin monimutkaisuudesta ja energian kulutuksesta.

Usvälaskenta on edellä mainittujen lisäksi yksi datanprosessointikeino, mutta terminä se on viime aikoina saanut vähempää huomiota. Usvälaskennassa datan prosessointi tapahtuu verkon todellisella reunalla, antureissa ja aktuaattoreissa, eikä reunalaskennan mukaan yhdyskäytävillä [29]. Usein usvälaskenta luetaan kuuluvaksi reunalaskentaan ja siitä syystä monet välttävät koko termiä. Oli käytetty termi mikä hyvänsä, kyseisen datanprosessointimallin suurimmat edut ovat välitön reagointi datan perusteella ilman minkäänlaista viivettä sekä se, että datan siirtoon langattomasti ei tarvitse käyttää yhtä paljon energiaa. Sen sijaan suurin haittapuoli on anturien ja aktuaattorien tyypillisesti erittäin rajallinen laskentateho ja virran saatavuus.

2.4 Käyttöliittymät

Käyttöliittymien tärkeys IoT-sovelluksissa on helppo ymmärtää. Käyttöliittymien välityksellä ihminen on suoraan yhteydessä järjestelmän toimintaan. Perinteisesti esineiden internetissä juuri tästä yhteydestä koko järjestelmän arvo muodostuu. Etäällä sijaitsevat anturit keräävät ympäristöstään tarpeellista informaatiota, jonka perusteella ihminen voi tehdä tilanteen vaatimia ratkaisuja ja toimintoja. Monissa kehittyneemmissä sovelluksissa toiminnot voivat olla automatisoituja, mutta käyttöliittymät yhä mahdollistavat järjestelmän toiminnan seuraamisen, (mahdollisesti rajoitettuun) automatisoituun toimintoihin puuttumisen, sekä datan analysoinnin ihmisymmärrystä vaativalla tavalla. Hyvänä yksinkertaisena esimerkkinä tästä voitaisiin pitää älykodin ilmastointilaitteen ollessa IoT-aktuaattori. Tällöin käyttöliittymästä voisi kytkeä ilmastointilaitteen päälle tai pois, sekä seurata huoneen lämpötilaa. Käyttöliittymä myös mahdollistaisi automatisoidut toiminnot ja ehdot, milloin laite kytkeytyy päälle ja pois, esimerkiksi tuntia ennen kotiin saapumista, tai huoneen lämpötilan siirtyessä rajalämpötilan ylä- tai alapuolelle. Tässä yksinkertaisessa esimerkissä varastoitu ja analysoitava data on huoneen lämpötilalukemat pitkällä aikavälillä, jolloin datan analysoinnissa voidaan havaita kausivaihtelu, jonka perusteella voidaan tehdä päätöksiä järjestelmän toiminnan osalta.

Tyypillinen esimerkki sovelluksesta, jossa käyttöliittymän tarkoitus on suuremmalta osin kerätyn datan seuraaminen, on älykello, joka on bluetoothilla yhteydessä puhelimeen ja puhelin edelleen mobiiliverkon avulla yhteydessä pilveen. Kuvassa 10 on esitetty tällaisen yksinkertaisen järjestelmän käyttöliittymä älypuhelimien sovelluksesta.



Kuva 10. Todellisen käytössä olevan IoT-järjestelmän käyttöliittymä.

Älykello on hyvä esimerkki IoT-sovelluksesta, missä pelkästään datan kerääminen tuo käyttäjälle lisäarvoa ilman yhtäkään automatisoitua toimintoa. Kerätyn datan pohjalta käyttäjä voi itse tehdä älykkäitä päätöksiä. Esimerkki tuo myös välähdyksen IoT:n luomista mahdollisuuksista.

3. IOT:N MAHDOLLISTAMAT TEKNOLOGIAT

Kuten tässäkin työssä on jo mainittu, esineiden internet on hyvin laaja konsepti, joka yhdistää useita eri teknologioita hyvin monia eri tarkoituskohteita varten. Tästä syystä on täysin mahdollista listata kaikkia teknologian aloja tai järjestelmiä, missä internetiin yhdistetyt esineet luovat niille lisäarvoa, sillä niitä on yhtä paljon kuin ihmisillä riittää mielikuvitusta. Voisikin sanoa, että IoT:llä on potentiaalia tehostaa ja/tai automatisoida niitä kaikkia. Toisaalta IoT luo joillekin sektoreille täysin uusia mahdollisuuksia, esimerkiksi terveydenhuoltoon tai kuljetusverkostoon. Tässä luvussa keskitytään kahteen teknologiseen kehityshaaraan, missä IoT toteuttaa mahdollisesti suurimmat hyödyt ihmiskunnalle.

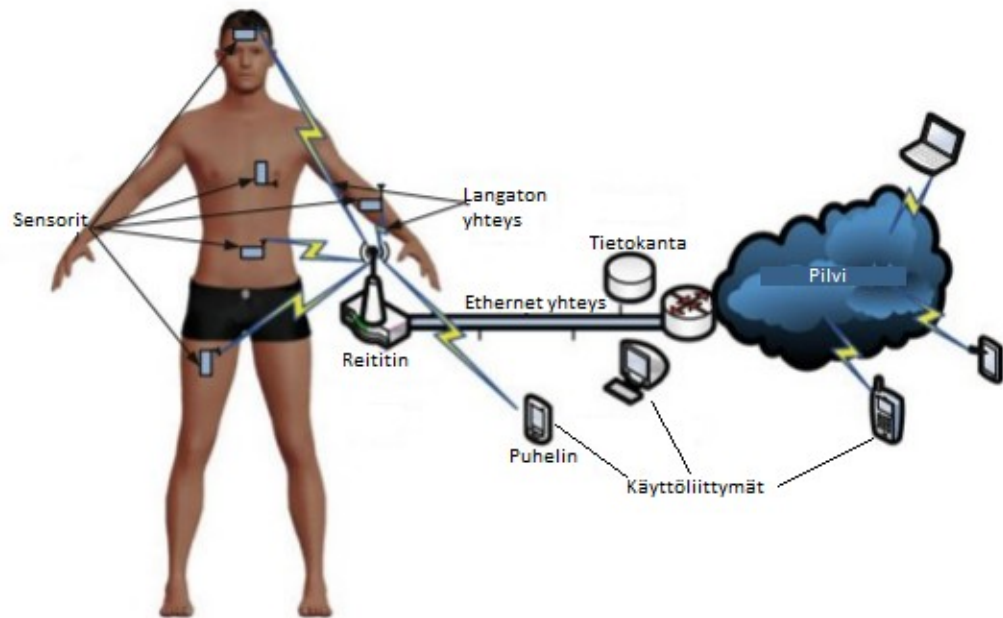
3.1 Esineiden internet terveydenhuollossa

Terveydenhuolto on täydellinen esimerkki sektorista, mikä hyötyisi valtavasti tehokkaammasta toiminnasta. Koko ihmiskunnan historian ajan terveydenhuollon kehitys on ollut ihmisten hyvinvoinnin kulmakivi ja viime vuosisatoina tällä sektorilla on tehty valtavia kehitysaskelia. Kuolleisuus on pudonnut erittäin merkittävästi viimeisen noin sadan vuoden aikana ja samaan aikaan elinajanodote on kasvanut [30]. Siitä huolimatta terveydenhuoltosektori ei ole ongelmaton ja kehitystä tapahtuu jatkuvasti kiihtyvällä tahdilla. Tällä hetkellä terveydenhuollon merkittävin ongelma länsimaissa on järjestelmän ylikuormitus ja rajoittunut kustannustehokkuus. Juuri tähän ongelmaan tekoälyalgoritmit ja esineiden internet tarjoaa erinomaisia ratkaisuvaihtoehtoja.

Kehon sisä- ja ulkopuolella sijaitsevat anturit voivat mitata normaalien elintoimintojen vaatimia fyysisiä parametreja: sykettä, ruumiinlämpöä, verenpainetta ja aktiivisuutta, tai veren kemiallista koostumusta kuten esimerkiksi verensokeria tai veren happipitoisuutta. Näiden parametrien muutoksia analysoimalla on mahdollista oppia ennakoimaan sairaskohtauksia, diagnosoimaan sairauksia tai havaitsemaan tapaturmia. Kehon alueen verkot ovat keskeisessä osassa tällaisessa järjestelmässä, josta kerrotaan seuraavassa aliluvussa.

3.1.1 Kehon alueen verkot

Kehon alueen verkot (BAN = Body Area Networks) ovat tyypillisesti tavallisia langattomien anturien verkkoja (WSN = Wireless sensor network). Kuvassa 11 on esitetty yksinkertaisen kehon alueen verkon arkkitehtuuri.



Kuva 11. Tyypillinen kehonalueen verkko. Muokattu lähteestä [31]

Kehon alueen verkot ovat eriteltty langattomien anturien verkoista omaksi käsitteekseen, sillä kehon alueen verkoilla on monia sille tyypillisiä ominaisuuksia. Tärkein eroavaisuus on anturien sijainti ihmiskehon läheisyydessä tai sen sisällä implanteina, mikä johtaa täysin erilaisiin vaatimuksiin anturien laadussa [32]. Ensinnäkin niiden tulee kestää ihmiskehosta aiheutuvat fyysiset ja kemialliset rasitukset. Toiseksi anturien tulee olla täysin terveydelle vaarattomia. Kolmanneksi keho aiheuttaa fyysisiä esteitä langattoman tietoliikenteen kululle, joten yhteysprotokollaksi on valittava vaihtoehto, joka läpäisee helposti kudoksen. Kaiken lisäksi anturien tulee kuluttaa erittäin vähän virtaa, jotta niitä ei tarvitse ladata tai vaihtaa kovin usein. Muita tavallisia eroja ovat kehon alueen verkkojen anturien vähäinen lukumäärä, sekä lyhyet langattoman tiedonsiirron etäisyydet. Lyhyet siirtoetäisyydet vähentävät anturien vaatimaa energiankulutusta, mutta myös muita menetelmiä on kehitettävä anturien pitkäikäisyyden takaamiseksi.

3.1.2 Kehon alueen verkon anturien energiatehokkuus

Sen lisäksi, että terveydenhuollon IoT-sovelluksissa anturien tulee olla pitkäikäisiä ja energiatehokkaita, niiden tulee myös olla erittäin toimintavarmoja. Jatkuva kehitys komponenttien koon pienenemisessä, tehokkuudessa sekä datansiirtoprotokollissa parantavat olosuhteita, mutta sen lisäksi on tutkittu myös muita vaihtoehtoisia menetelmiä. Ongelmaan on ehdotettu ratkaisua, missä käytetään joustavaa datansiirtoon vaadittavaa lähetystehoa, jolloin energian kulutuksen ja tiedonsiirron varmuuden väliltä etsitään täydellinen kompromissi [33]. Algoritmista on lähetysteholle 32 eri tasoa, joka määräytyy jokaisen lähetyksen jälkeen tukiaseman kuittauspaketin perusteella. Tukiasema arvioi datansiirtokanavan kunnan jokaisen vastaanotetun paketin perusteella ja lähettää kuittauksessa tarvittavan muutoksen lähetystehoon. Mikäli datansiirtokanavan olosuhteet ovat hyvät, lähetystehoa voidaan laskea ja mikäli olosuhteet ovat huonot, tehoa kasvatetaan. Näin saavutetaan joka hetkellä minimilähetysteho, jolla paketit saadaan vastaanotettua virheettömästi.

Toisessa tutkimuksessa ehdotetaan mallia, jossa terveyden tila kvantisoidaan eri tiloihin, missä ääripäät kuvaavat kaikista eniten tervettä tilaa ja kaikista vähiten tervettä tilaa [34]. Anturien keräämän datan perusteella potilaalla on jokin tietty terveyttä kuvaava tila. Datan perusteella tila voi muuttua terveemmästä huonompaan ja toisin päin. Data myös ajetaan tutkimuksessa esitetyn oppimisalgoritmin läpi, joka riittävän datamäärän saatuaan oppii arvioimaan todennäköisyyksiä sille, että tilamuutos on tapahtunut. Tällöin saavutetaan tilanne, missä kaikkien anturien ei tarvitse olla aktiivisena kaiken aikaa, jolloin systeemin energiatehokkuus paranee. Siirtymämatriisin lukuarvojen ja näin ollen terveydentilan perusteella voidaan myös havaita vaaratilanteet tilan saavuttaessa huonoimpaa terveyttä kuvaavan arvon tai tilan.

3.1.3 Hyödyt

Edellisiä periaatteita hyödyntäviä teknologioita valjastamalla terveydenhuollon kapasiteetin ylikuormitusta voitaisiin keventää merkittävästi, sekä parantaa sen kustannustehokkuutta. Kehon arvoja mittaavien anturien datan perusteella voisi olla mahdollista kehittää oppimisalgoritmeja diagnosoimaan yksinkertaisia sairauksia. Automatisoidusta diagnostiikasta ollaan todennäköisesti vielä kaukana, mutta esineiden internetistä tulee olemaan erittäin paljon hyötyä jo lähivuosina terveydenhuoltopalveluiden tukena. Esimerkiksi pelkästään terveyttä mittaavien anturien dataa voidaan hyödyntää lääkäreiden toimesta heidän tehdessä diagnooseja

etänä ja tällaiset järjestelmät ovat jokseenkin yksinkertaisia. Myös sairaskohtaukset tai muut hätätapaukset ovat suhteellisen helposti havaittavissa seuraamalla sykettä tai sydänsähkökäyrää. Tällöin automatisoitu avunpyyntö hätäkeskukselta on helposti toteutettavissa.

Tällä hetkellä tarjolla on enimmäkseen sovelluksia, rannekkeita, jotka vaativat käyttäjän toiminnon, napinpainalluksen hätätapauksen, sairaskohtauksen tai lähinnä vanhuksien kohdalla kaatumisen sattuessa. Myös jotkin älykellot pyrkivät havaitsemaan epäsäännöllisen sydämen rytmin ja ilmoittamaan siitä käyttäjälleen. Tästä kehityksestä ei ole pitkä matka siihen, että tekoälyä ja oppimisalgoritmeja hyödyntäen joitakin sairaskohtauksia voidaan ennakoida, ja hälyttää apua viimeistään sen tapahtuessa. Sen seurauksena luvun alussa mainittu kehitys kuolleisuuden vähentämisessä paransi edelleen merkittävässä määrin. Vaikka näytöt IoT:n tulevista hyödyistä terveydenhuollossa ovat vahvoja, muutos luo myös paljon uusia ongelmia ratkaistavaksi. Osaa näistä ongelmista analysoidaan luvussa 4.

3.2 Esineiden internet liikenneverkoston kehityksessä

Esineiden internet tuo erittäin paljon uusia mahdollisuuksia myös liikenneverkoston toimintaan. Kehitys on ollut käynnissä jo hetken aikaa ja nykyään uudet autot on usein varustettu erilaisilla antureilla, jotka keräävät dataa auton ympäristöstä. Tämän datan pohjalta järjestelmä avustaa kuljettajaa tekemällä joko automatisoituja korjauksia tai antaa kuljettajalle mahdollisuuden hyödyntää kerättyä dataa. Automatisoidusta avustuksesta esimerkkinä voisi toimia automaattinen jarrutus, mikäli edessä kulkeva auto tekee äkkijarrutuksen tai sen etäisyys omaan autoon pienenee muista syistä nopeasti. Yksinkertainen esimerkki anturien keräämän datan hyödyntämisestä ilman automatisoituja toimintoja on kuljettajan auton perään asennetun kameran kuvadatan katsominen parkkeeratessa. Ensimmäinen askel kohti täysin automatisoitua liikennettä on siis jo otettu, vaikka kehityksessä ollaan vielä erittäin varhaisessa vaiheessa. Seuraava askel on lisätyn todellisuuden hyödyntäminen kuljettajien apuna.

3.2.1 Lisätty todellisuus

Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen liikenteessä vaatii jo yhteyden liikenteen käyttäjien ja liikenneinfrastruktuurin yhteyteen asennettujen tukiasemien välillä. Tätä

yhteyttä kutsutaan V2X eli vehicle-to-everything yhteydeksi. Suomeksi se tarkoittaa kulkuneuvojen yhteyttä kaikkeen. Toisin sanoen tällaisessa tilanteessa liikenteessä kulkevat autot olisivat yhteydessä samaan aikaan toisiinsa sekä teiden varrella sijaitseviin tukiasemiin [35]. Toisaalta teknologiaa hyödyntäessä kaikkien liikenteessä olevien autojen ei tarvitse olla kykeneviä muodostamaan yhteyksiä ja tuottamaan dataa järjestelmään, joten infrastruktuuria voidaan hyvin alkaa rakentamaan ilman että siitä aiheutuu mitään vahinkoa muille. Näin ollen kehitys täysin automaattisesti toimivaan liikennejärjestelmään voi tapahtua saumattomasti rakentaen lisää ominaisuuksia vanhan teknologian päälle. Seuraavassa neljän kuvan sarjassa esiintyy täydellinen esimerkki tilanteesta, jossa käyttäjä, joka hyödyntää lisätyn todellisuuden tuomia mahdollisuuksia, ei vaikuta toiminnallaan tavallisiin liikenteen käyttäjiin mitenkään, lisäten kuitenkin kaikkien osapuolien turvallisuutta. Kaikki kuvat ovat muokattuja lähteestä [36].



Kuva 12. Sisälle rakennettu koejärjestely.



Kuva 13. Kuljettajan näkymä kulmasta.



Kuva 14. Tukiaseman kamerakuva kulman takaa.



Kuva 15. Lisätyn todellisuuden tuoma näkymä kuljettajalle

Kuvasarjan koejärjestelystä voidaan selvästi huomata yksi konkreettinen esimerkki lisätyn todellisuuden tuomista eduista ja sen johdosta kaikkien liikenteen käyttäjien turvallisuuden paraneminen. On kuitenkin huomion arvoista, että teknologian hyödyntäminen vaatii suurien datamäärien prosessointia reaaliajassa sekä datansiirtoa langattomasti suurilla nopeuksilla virheettömästi käyttäjien ja tukiasemien välillä.

3.2.2 Autonomiset autot

Liikenteen automatisoinnissa on selvää, että autonomisten autojen tarvitsee kyetä suoriutumaan ajotehtävästä vähintään yhtä hyvin kuin ihminen. Autojen automaation astetta on pyritty luokitteluun selviin numeroituihin tasoihin ja eri tahot ovat luoneet omat määritelmänsä. Määritelmien suuren lukumäärän vuoksi ihmisten keskuudessa on esiintynyt hämmennystä, missä kohtaa kehitystä tällä hetkellä todella mennään. Yleisin käytetty määritelmä auton automaation tasosta on kuitenkin SAE:n (Society of Automotive Engineers), joka luokittelee auton kykenevyyden numeroiduille tasoille 0-5.

Nolla tarkoittaa täysin manuaalista autoa ja viisi tarkoittaa täysin ihmisen toiminnasta riippumatonta kykyä ajaa missä tahansa olosuhteissa ja maastoissa [37]. Tällä hetkellä edistyneimmät myynnissä olevat autot sijaitsevat tasoilla 1-3. Parhaimmillaan tasolla kaksi auto kykenee automaattisesti jarruttamaan, kiihdyttämään, pitämään nopeuden vakiona, sekä pitämään auton keskellä kaistaa. Taso kolme kykenee ehdollisissa tilanteissa automaattiseen ajamiseen, mutta vaatii kuskin paikalle ihmisen tilanteisiin, missä järjestelmä ei kykene suoriutumaan. Ensimmäinen kaupallinen tason 3 auto oli Audi A8L vuonna 2019. Tällä hetkellä edistyneimmät testikäytössä olevat järjestelmät hyödyntävät tason 4 automaatiota ja taso 5 on vielä täysin suunnittelun asteella [38].

3.2.3 Hyödyt

Automatisoitu liikenne voidaan myös integroida täydellisesti osaksi älykaupunkien suunnittelua, jolloin tason 5 automaation saavuttaminen toimiessaan suunnitellusti toisi monia eri hyötyjä yhteiskunnalle. Tärkeimpänä hyötynä voidaan pitää ihmisen tekemistä virheistä aiheutuneiden onnettomuuksien eliminoiminen. Vuonna 2021 Suomessa tapahtui 3213 henkilövahinkoja aiheuttavaa liikenneonnettomuutta, joissa kuoli 225 ihmistä [39]. Henkilövahinkojen välttämisen lisäksi myös liikenneonnettomuuksien aiheuttamat taloudelliset menetykset vähenisivät merkittävästi. Seuraavaksi tärkein hyöty on liikenteen tehostuminen. Liikennemuutokset ovat suurelta osin seurausta suurien liikenteenkäyttäjien määrän turvallisesta kontrolloimisesta, miltä voidaan välttyä, mikäli kaikki liikenteenkäyttäjät ovat yhteydessä toisiinsa, ja niiden aiheet tiedetään suurelta osin etukäteen. Automatisoidussa liikenteessä myös kuljetut reitit voidaan suunnitella lähtötilanteessa tieverkoston käyttöasteen mukaan, jolloin liikenteeseen ei synny pullonkauloja.

Liikenteen yleinen tehostuminen lyhentää matka-aikoja, vähentää päästöjä sekä keskimääräistä energian kulutusta kuljetulla matkalla [40]. Automatisoitujen autojen yleistyminen voi vähentää autojen yksityisomistamisen tarvetta, mikä puolestaan myös vähentää liikennemuutosten syntymistä, ja edelleen tehostaa liikennettä. Kaikki edellä mainittu myös vähentää liikennejärjestelmää hyödyntävien kuluja. Esimerkiksi autonomisen auton käyttö tulevaisuudessa taksipalveluna todennäköisesti maksaa kuluttajalle merkittävästi vähemmän. Autonomisen auton omistaminen myös avaa tulevaisuudessa uusia mahdollisuuksia. Yksityisomisteisen auton voi esimerkiksi vuokrata taksikäyttöön kaikkina niinä aikoina, kun oma tarve autolle on olematon. Tästä seuraa, että jokaisen olemassa olevan auton käyttöaste nykyhetken verrattuna kasvaa erittäin merkittävästi, jolloin kaupungissa olevien autojen kokonaismäärän tarve

luonnollisesti pienenee. Käyttöasteen lisääntyessä myös parkkipaikkojen tarve on vähäisempi ja tiet vapautuvat niiden alkuperäisen tarkoituksen mukaiseen käyttöön.

Koska käsitellyn mahdollisen liikennejärjestelmän jokainen yksittäinen seikka parantaa muiden järjestelmän tuomia etuja, muodostuu kokonaisuudesta erittäin merkittävä kehitysaskel tulevaisuuden kaupunkien kokonaiskuvaa ajatellen. Esineiden internetin mahdollistama potentiaali on suuri, mutta tälläkin osa-alueella kehitystä varjostaa lukuisat ongelmat, jotka pitää ratkaista.

4. KESKEISIMMÄT ONGELMAT

Esineiden internetin voittokulkua varjostaa hyvin laaja skaala erilaisia ongelmia, joiden laatu ja vakavuus riippuu pitkälti kyseessä olevasta IoT-sovelluksesta. Siksi tässä luvussa käsitellään ensin yleisiä esineiden internetin kohtaamia ongelmia, jotka pätevät muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kaikille IoT-järjestelmille. Sen jälkeen esitetään luvussa kolme käsiteltyjen sovellusten kohtaamat suurimmat ja vakavimmat haasteet, jotka ovat erityisesti tyypillisiä kyseisille IoT-sovelluksille. Sovelluskohtaisia ongelmia käsittelemällä voidaan päätellä, millaisia mahdollisia haasteita esineiden internet saattaa luoda myös muilla teknologian sektoreilla.

4.1 Yleiset ongelmat

Kaikista tyypillisin ongelma, joka koskee kaikkia esineiden internetin järjestelmiä, on tietoturvallisuusriskit. Täsmälleen samat informaatioteknologiset tietoturvaongelmat koskevat uusia internetiin yhdistettyjä laitteita kuin perinteisiä tietokoneita. IoT:n kohdalla tilanne on kuitenkin haastavampi, sillä laitteet, anturit ja aktuaattorit, ovat usein rajoitteellisia laskentatehon ja energian osalta. Perinteisesti tietoliikenteessä lähetettäviin datapaketteihin lisätään datan välityksen kannalta turhia osia, jotka salaavat tai muuten suojaavat datan integriteettiä. Useissa energiarajoittuneissa IoT-sovelluksissa ylimääräisen datan lähettäminen voi olla haastavaa. Myös laitevalmistajien välinen kilpailu aiheuttaa kiirettä tuotteiden suunnittelussa. Markkinoille ohjataan toimivia tuotteita, joiden tietoturvariskejä ei ole ehditty arvioida, saati ennaltaehkäistä. IoT-järjestelmissä tärkeintä on suojata yhdyskäytävä, jonka kautta kaikki anturien keräämä data kulkee. Eritoten kuluttajille suunnattujen tuotteiden toimiessa kodin lähiverkossa, suurin riski muodostuu nimenomaan reitittimen suojauksesta tai sen puutteesta. Tällöin suurin tietoturvariski muodostuu kuluttajan epäpätevästä toiminnasta. Mitä enemmän informaatiota kotiverkossa kerätään ja sitä kulkee reitittimen välityksellä pilvipalvelimille, sitä suurempi hyöty mahdollisille väärinkäyttäjille syntyy. Kuluttajat aiheuttavat toiminnallaan lisää tietoturvaongelmia myös lataamalla laitteilleen ilmaisia sovelluksia, jotka voivat itsessään olla haitallisia, tai hyväksyä käyttöehdot niitä lukematta, antaen sovelluksille paljon enemmän käyttöoikeuksia kuin oikeasti haluavat. Niin tapahtui puhelimen internetyhteyksien

yleistyessä, eikä ole mitään syytä, miksei sama toistuisi älytelevisioiden tai muiden kodin älylaitteiden kohdalla. [41]

Toinen esineiden internetiä yleisellä tasolla koskeva ongelma on standardien puutos. Erilaisia järjestelmiä on niin monia, että erinäisiin ongelmiin on kehitetty eri tahoilla useita eri ratkaisuja. Luvussa kaksi käsiteltiin tyypillisiä esineiden internetiin kuuluvia laitteita, yhteysprotokollia ja arkkitehtuureja, mutta ei lähellekään kaikkia. Tästä voidaan päätellä, että erilaisia yhdistelmiä on lähes lukematon määrä. Tavoitteena on jo pitkän aikaa ollut löytää jokin yleispätevä ratkaisu ja standardoida se, jolloin yhteensopivuusongelmat voitaisiin eliminoida, mutta tyypillisesti tuloksena on vain yksi standardi lisää lukuisten jo olemassa olevien rinnalle. Myöhemmin jokin toinen taho yrittää samaa uudestaan ja sama toistuu, jolloin ongelman ratkaisu itseasiassa pahentaa tilannetta [42].

Yleisesti voidaan myös sanoa, että mitä enemmän laitteita yhdistetään internetiin, sitä enemmän lähetettävää, prosessoitavaa ja varastoitavaa dataa kertyy. Tästä aiheutuu lukuisia ongelmia datan hallinnan näkökulmasta. Tämä ongelma ei kuitenkaan ole pelkästään esineiden internetin aiheuttama ja kokema, vaan koko kehittyvän informaatioteknologiasektorin.

4.2 Esineiden internetin luomat haasteet terveydenhuoltoon

Terveydenhuollossa datan käsittelyyn liittyvät ongelmat ovat ensisijaisen tärkeitä. Perinteisissäkin terveydenhuoltopalvelujen tietomurroissa on saatu aikaan merkittäviä tuhoja, kuten vuosina 2018 ja 2019 tapahtunut ja vuonna 2020 julkisuuteen tullut Vastaamon tapaus osoittaa [43]. Esineiden internetin tehostamassa älykkäässä terveydenhuollossa uhkakuvat ovat kuitenkin suurempia, sillä kerätyn datan määrä tulee olemaan merkittävästi suurempi. Vaikeuksia aiheuttaa tarve varastoida suuret datamäärät turvallisesti, mutta samalla myös useampaan paikkaan, jotta datan säilyvyys voidaan taata järjestelmän kaatuessa tai tuhoutuessa. Anturien ja aktuaattorien rajoittuneisuuden ja vaativien olosuhteiden vuoksi myös yksittäisiä henkilöitä koskevat hyökkäykset ovat tavallista helpompia toteuttaa, sekä vaarallisempia arkaluonteisen datan vuoksi [44].

Seuraavat dataa koskevat ongelmat herää käsiteltäessä älykästä terveydenhuoltoa, johon liittyy automatisoidut tehtävät hyödyntäen koneoppimista ja tekoälyä. Tyypillisesti koneoppimisessa käytetään erittäin suuria määriä opetusdataa, jotta teknologia toimii varmemmin. Terveydenhuoltopalveluiden tapauksessa opetusdata tulisi olla oikeiden

potilaiden tuottamaa dataa, jolloin herää kysymys, kuka on oikeutettu käsittelemään niinkin arkaluonteisia ja henkilökohtaisia tietoja. Mitä suurempi määrä henkilöitä järjestelmän kehityksessä on mukana, sitä suuremmalla todennäköisyydellä yksityishenkilöiden yksityisyyttä loukataan tai jonkin asteisia tietovuotoja tapahtuu. Samalla kehitettävät automatisoidut oppimisalgoritmeja ja tekoälyä hyödyntävät järjestelmät kasvavat erittäin kompleksisiksi ja virhetilanteiden ennakointi muodostuu erittäin vaikeaksi. Terveystietojärjestelmissä virhetilanteet voivat johtaa pahimmassa tapauksessa jopa kuolemantapauksiin, joten mahdolliset ongelmat on otettava erittäin vakavasti. Ongelmalliseksi muodostuu myös kysymys vastuusta mahdollisten virhetilanteiden aiheuttamista vaurioista. Järjestelmän koon ja monimutkaisuuden lisääntyessä mahdollisia virhetilanteita voi aiheutua järjestelmän mistä tahansa haarasta, antureista ja aktuaattoreista, osien välisistä langattomista yhteyksistä, datan prosessoinnista tai ihmisten tai tekoälyn datan pohjalta tekemistä ratkaisuksista.

4.3 Esineiden internetin luomat haasteet liikenneverkostoon

Automatisoituun liikenneinfrastruktuuriin kohdistuvat ongelmat ovat täysin eriluonteisia verrattuna älykkään terveydenhuollon ongelmiin. Data ei ole arkaluonteista, eikä suurinta osaa siitä tarvitse varastoida. Tason 5 autonomisia autoja, ja sen mahdollistaman järjestelmän toteutumista varjostaa suurimmalta osin tietoliikenneteknologian aiheuttamat pullonkaulat, sekä suuri haavoittuvuus terrorismille ja häirinnälle. Tällä hetkellä ehkä paras ehdokas V2X, eli vehicle-to-everything yhteyksille ovat mobiiliverkot, 4G, 5G, sekä näiden johdannaiset LTE-M ja NB-IoT. On kuitenkin arvioitu, että CAV:t, eli yhdistetyt autonomiset autot tuottaisivat 40 TB dataa joka kahdeksas tunti jokaista autoa kohti ja vaikka suurin osa datasta prosessoidaan ja varastoidaan, noin kymmenys datasta vaatii siirtoa langattomasti. Tämä tarkoittaisi 512 GB:n datamäärää tunnissa, joka pitäisi pystyä siirtämään langattomasti. Mikään tällä hetkellä olemassa oleva yhteysstandardi ei kykene saavuttamaan lähellekään niin suuria datansiirtonopeuksia olosuhteissa, missä autot tyypillisesti ovat. 5G:n mahdollistamat datansiirtonopeuksien huiput ovat erittäin suuria, mutta vähänkään huonommissa olosuhteissa siirtonopeudet laskevat todella rajusti [40]. Auton liike aiheuttaa kaksi suurinta datansiirtonopeuksia heikentävää tekijää. Ensimmäinen on datansiirtokanavan jatkuva muutos. Parhaat datansiirtonopeudet saavutetaan, kun kanava on häiriötön ja muuttumaton. Häiriöt eivät ole niin suuresti vaikuttava tekijä, sillä mikäli kanava pysyy vakiona, voidaan häiriön aiheuttamat vääristymät ennakoita ja

korjata vastaanottimessa. Auton ollessa jatkuvassa liikkeessä, datansiirtokanava on joka sekunti erilainen. Toinen tekijä on saumattoman yhteyden takaaminen tukiaseman vaihtuessa. Auton saumaton tukiaseman vaihto vaatii suuren määrän ohjaussignaalointia, jolloin varsinaiseen datansiirtoon jäävät resurssit ovat merkittävästi pienemmät [45].

Lähinnä kuluttajavaatimuksien perusteella mobiiliverkot ovat kehittyneet suuntaan, missä tietoliikenneyhteydet ovat paljon nopeampia tukiasemalta käyttäjälle (Downlink), kuin käyttäjältä tukiasemalle (Uplink). Tämä johtuu siitä, että perinteisesti (älypuhelimien) käyttäjän datansiirtovaatimukset ovat erittäin painottuneet datan vastaanottamiseen, esimerkiksi videon katseluun tai erinäisten tiedostojen ja sovellusten lataamiseen, suurien datamäärien lähetyksen sijaan. Yhdistettyjen autonomisten autojen tapauksessa datan lähetyksen ja vastaanoton suhde on lähempänä yhtä.

Haavoittuvuus häirinnälle on jatkuvasti paheneva uhkakuva esineiden internetille, sekä mobiiliverkkoja hyödyntäville sovelluksille. Uhka häirinnälle on aina ollut olemassa, mutta sen aiheuttamien vaurioiden vakavuus on ollut vähäistä. Mikäli tulevaisuudessa erittäin kriittisen infrastruktuurin yhteydet ovat helposti rampautettavissa, ei niitä hyödyntäviä sovelluksia voida luokitella turvallisiksi, eikä näin ollen käyttää [46]. Mobiiliverkkojen käyttäjät häiritsevät kommunikoinnillaan kaikkia muita saman verkon käyttäjiä. Tätä ongelmaa on mobiiliverkkojen kehityksessä tutkittu erittäin paljon ja käyttäjien keskinäisen interferenssin vaikutuksia on onnistuttu vähentämään erittäin merkittävästi erinäisten menetelmien kuten esimerkiksi resurssien aikatauluttamisen avulla. Vähemmälle huomiolle on kuitenkin jäänyt tahallisen interferenssin aiheuttamat vaikutukset ja niiden minimointi. Se on toteutettavissa rakentamalla tai ostamalla yksinkertainen suuritehoinen lähetin, joka lähettää häiritävillä taajuuksilla informaation osalta tyhjää signaalia kaikkiin suuntiin, jolloin kaikki muu data peittyy käytännössä suuritehoisen kohinan alle. Ongelmaan on onneksi kuitenkin viime aikoina herätty kehittämällä myös mahdollisten hyökkäyksen varalle mekanismeja [46].

5. YHTEENVETO

Esineiden internet on erittäin monia eri teknologioita yhdistävä konsepti, joka muodostaa laajan kirjon teknologisia sovelluksia ja erilaisia ratkaisuja jokapäiväisen elämän ongelmiin. Yksinkertaistettuna voidaan kuitenkin sanoa, että esineiden internet on käytännössä kaikesta datan keräämistä, ja sen hyödyntämistä. Ei ole siis liioiteltua sanoa, että esineiden internetin luomat potentiaaliset edut ovat rajoittuneet ainoastaan mielikuvituksen määrään. Eduista tärkein voidaan tiivistää yleiseen tehokkuuden paranemiseen kaikilla elämän ja teollisuuden osa-alueilla, mitä ihmiskunta on koko historiansa aikana pyrkinyt parantamaan. Toisinaan tuottavuuden ja tehokkuuden paraneminen on edennyt harppauksin, joita kutsutaan teollisiksi vallankumouksiksi. Esineiden internet yhdessä URRLC-sovellusten mahdollistamien yhteysmenetelmien, tekoälyn ja koneoppimisen kanssa todennäköisesti johtavat seuraavaan harppaukseen. Koko ajan enenevässä määrin kriittiseen infrastruktuuriin kohdistetaan automatisoivaa teknologiaa, jolloin ihmishenkien kohtalo lasketaan suunniteltujen järjestelmien varaan. On siis ensiarvoisen tärkeää, että mahdollisia riskejä ja ongelmia analysoidaan etukäteen erittäin tarkasti, ennen järjestelmien soveltamista oikean elämän kohteissa, sillä perinteinen ihmisyydelle tyypillinen virheistä oppimisen periaate voi altistaa suuria ihmismääriä vaaraan.

LÄHTEET

- [1] A brief history of Internet of Things. Saatavissa (viitattu 27.2.2019): <https://www.postscapes.com/internet-of-things-history/>
- [2] The little-known story of the first IoT device. Saatavissa (viitattu 27.2.2019): <https://www.ibm.com/blogs/industries/little-known-story-first-iot-device/>
- [3] Penttinen JTJ. Wireless communications security: Solutions for the internet of things. Chicester: John Wiley & Sons, Incorporated; 2016.
- [4] Sood, Sandeep K., and Isha Mahajan. "Wearable IoT Sensor Based Healthcare System for Identifying and Controlling Chikungunya Virus." Computers in industry 91 (2017): 33–44. Web.
- [5] IoT Gateway Architecture. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): <https://iotdunia.com/iot-gateway-architecture/>
- [6] 4G-verkon peittoalueet suomessa. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/maaseudun-nettiyhteydet-kohenivat-roimasti-kahdessa-vuodessa-sonera-ja-dna-ohittivat-elisan-4g-peitossa-1.169127>
- [7] Maailman 4G-verkon kattavuudet valtioittain. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <https://www.opensignal.com/>
- [8] DNA:n 4G-verkkopeitto suomessa 2018 vuoden lopussa. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <https://www.dna.fi/kuuluvuus-ja-peittoalueet>
- [9] Telian 4G-verkkopeitto suomessa 2018 vuoden lopussa. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <https://www.telia.fi/asiakastuki/verkko/verkko/verkkokartta>
- [10] Connectivity Technologies for IoT. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <https://www.telenorconnexion.com/connectivity-technologies-for-iot/>
- [11] What is Cloud Computing? Saatavissa (viitattu 25.5.2019): <https://aws.amazon.com/what-is-cloud-computing/>
- [12] Russell B, Van Duren D. Practical Internet of Things Security. Birmingham, UK: Packt Publishing; 2016
- [13] Towards 5G: Requirements and Candidate Technologies, edited by Rath Vannithamby, and Shilpa Talwar, John Wiley & Sons, Incorporated, 2017. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=4733881>.
- [14] LAN Services. Saatavissa (viitattu 25.5.2019): <https://www.indiamart.com/cnetwork/lan-services.html>

- [15] The evolution of WiFi standards: a look at 802.11a/b/g/n/ac. Saatavissa (viitattu 26.5.2019): <https://www.actiontec.com/wifihelp/evolution-wi-fi-standards-look-802-11abgnac/>
- [16] A Look at IEEE 802.11ax-2019, the New Wi-Fi Standard for HEW (High-Efficiency Wi-Fi). [Viitattu 26. toukokuuta 2019]. Saatavilla: <https://www.allaboutcircuits.com/news/IEEE-802.11ax-2019-new-Wi-Fi-standard-hew-high-efficiency-WiFi/>
- [17] P802.3ct – Standard for Ethernet Amendment: Physical Layers and Management Parameters for 100Gbit/s and 400 Gbit/s Operation over DWDM (dense wavelength division multiplexing) systems. Saatavissa (viitattu 26.5.2019): https://standards.ieee.org/project/802_3ct.html
- [18] A Survey on Wi-Fi HaLow Technology for Internet of Things. Saatavissa (viitattu 27.5.2019): <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/8582141>
- [19] 3GPP Release 13. Saatavissa (viitattu 28.5.2019): <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-13>
- [20] Foubert, B.; Mitton, N. Long-Range Wireless Radio Technologies: A Survey. Future Internet 2020, 12, 13. <https://doi.org/10.3390/fi12010013>
- [21] Sinha, Rashmi Sharan, Yiqiao Wei, and Seung-Hoon Hwang. "A Survey on LPWA Technology: LoRa and NB-IoT." ICT express 3.1 (2017): 14–21. Web.
- [22] NB-IoT vs Sigfox Saatavissa (viitattu 10.12.2022): <https://www.rinf.tech/nb-iot-vs-sigfox-licensed-vs-unlicensed-frequency-spectrums/>
- [23] Kurssi: COMP.CE.450 Internet of Things luentomateriaali 2021, luento 9: Computing Paradigms and IoT
- [24] Mell, Peter, and Tim Grance. "The NIST definition of cloud computing." (2011)
- [25] Rountree, Derrick., Ileana. Castrillo, and Hai. Jiang. The Basics of Cloud Computing : Understanding the Fundamentals of Cloud Computing in Theory and Practice. 1st edition. Amsterdam: Syngress, an imprint of Elsevier, 2014. Print.
- [26] What is 5G ultra reliable low latency communications (URLLC) Saatavissa (viitattu 12.12.2022): <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-5g-ultra-reliable-low-latency-communications-urllc>
- [27] Shi, Weisong, George Pallis, and Zhiwei Xu. "Edge Computing [Scanning the Issue]." Proceedings of the IEEE 107.8 (2019): 1474–1481. Web.
- [28] Zomaya, Albert Y., Assad Abbas, and Samee Ullah Khan. Fog Computing : Theory and Practice. Ed. Albert Y. Zomaya, Assad Abbas, and Samee Ullah Khan. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2020. Web.
- [29] Barik, Rabindra K. et al. "Mist Data: Leveraging Mist Computing for Secure and Scalable Architecture for Smart and Connected Health." Procedia Computer Science 125 (2018): 647–653. Web

- [30] Porter, Roy. *The Greatest Benefit to Mankind : a Medical History of Humanity from Antiquity to the Present*. London: Fontana Press, 1999. Print.
- [31] Thotahewa, Kasun Maduranga Silva., Jean-Michel. Redouté, and Mehmet Rasit. Yuce. *Ultra Wideband Wireless Body Area Networks*. 1st ed. 2014. Cham: Springer International Publishing, 2014. Web
- [32] Rashid, Humayun. *Adaptive Body Area Sensor Network For IoT Based Remote Healthcare*. N.p., 2019. Print.
- [33] Sodhro, Ali Hassan, Ye Li, and Madad Ali Shah. "Energy-Efficient Adaptive Transmission Power Control for Wireless Body Area Networks." *IET communications* 10.1 (2016): 81–90. Web.
- [34] Geller, Tal et al. "Learning Health State Transition Probabilities via Wireless Body Area Networks." *ICC 2019 - 2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. Vol. 2019-. IEEE, 2019. 1–6. Web.
- [35] Bazzi, Alessandro et al. "Survey and Perspectives of Vehicular Wi-Fi Versus Sidelink Cellular-V2X in the 5G Era." *Future internet* 11.6 (2019): 122–. Web.
- [36] Kazuki Maruta et al. "Blind-Spot Visualization via AR Glasses Using Millimeter-Wave V2X for Safe Driving." *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*. Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE), 2021. Web.
- [37] Stayton, Erik, and Jack Stilgoe. "It's Time to Rethink Levels of Automation for Self-Driving Vehicles [Opinion]." *IEEE technology & society magazine* 39.3 (2020): 13–19. Web.
- [38] The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained, Saatavissa (viitattu 16.11.2023): <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>
- [39] Liikenteen ajankohtaiset tilastot. Saatavissa (viitattu 16.1.2023): <https://www.liikenneturva.fi/tutkimukset/ajankohtaiset-tilastot/>
- [40] Li, Changle et al. "Vehicle-Mounted Base Station for Connected and Autonomous Vehicles: Opportunities and Challenges." *IEEE wireless communications* 26.4 (2019): 30–36. Web.
- [41] Gilchrist, Alasdair. *IoT Security Issues*. First edition. Boston, [Massachusetts] ;; De G Press, 2017. Web.
- [42] Agarwal, Shivani, Sandhya Makkar, and Duc-Tan Tran. *Privacy Vulnerabilities and Data Security Challenges in the IoT*. Ed. Shivani Agarwal, Sandhya Makkar, and Duc-Tan Tran. First edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2021. Print.
- [43] Huhtanen, Jarmo: Potilaiden tietoja vietiin psykoterapiakeskuksen tietomurrossa, yrittäjä kertoo joutuneensa kiristyksen uhriksi. Helsingin Sanomat. Saatavissa (viitattu 17.1.2023): <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000006676407.html>
- [44] Rani, Shalli. *IoT-Enabled Smart Healthcare Systems, Services and Applications*. Ed. Shalli Rani. Hoboken, New Jersey ;; Wiley, 2022. Print.

- [45] Kurssi: COMM.SYS.750 Advanced Course on Wireless Communications luentomateriaali 2022, luento 8: LTE mobility management
- [46] Arjoune, Youness, and Saleh Faruque. "Smart Jamming Attacks in 5G New Radio: A Review." 2020 10th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). Piscataway: IEEE, 2020. 1010–1015. Web.