



**BLUETOOTH 5 UUDET TOIMINNALLISUUDET JA PARANNUKSET
VANHOIHIN VERSIOIHIN VERRATTUNA**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tietotekniikka Kandidaatintyö

2022

Jarkko Peltonen

Tarkastaja(t): Associate Professor Ari Happonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tietotekniikka

Jarkko Peltonen

Bluetooth 5 uudet toiminnallisuudet ja parannukset vanhoihin versioihin verrattuna

Tietotekniikan kandidaatintyö

2022

24 sivua, 3 kuvaa ja 2 taulukkoa

Tarkastaja(t): Associate Professor Ari Happonen

Avainsanat: Bluetooth, langaton tiedonsiirto, IoT, kandidaatintyö

Bluetooth 5 on uusi versio päivitys. Sen myötä on tullut useampi ominaisuus, joiden avulla langattomien laitteiden käyttö monipuolistuu ja helpottuu. Uusia ominaisuuksia on esimerkiksi SAM, jonka avulla laitteet pystyvät keskustelemaan toistensa kanssa ja valitsemaan kanavan mikä on vapaana. Myös laitteet pystyvät antenniensa avulla määrittämään oman sijaintinsa AoA:n avulla. Uusia sovelluskohteita on Multi-Stream Audio, jonka avulla yksi laite, voi lähettää synkronoitua ääntä yhteen tai useampaan laitteeseen, jotka vastaanottavat ääntä.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Engineering Science

Software Engineering

Jarkko Peltonen

Bluetooth 5 new features and improvements over older version

Bachelor's thesis

2022

28 pages, 3 figures and 2 tables

Examiner(s): Associate Professor Ari Happonen

Keywords: Bluetooth, wireless communication, IoT, Bachelor's thesis

Bluetooth 5 is the latest version update. It introduces several features that make it easier and more versatile to use wireless devices. New features include SAM, which allows devices to communicate to each other and select which channel is available. Devices can use their antennas to determine their own location using AoA. New application areas include Multi-Stream Audio, which allows one device to send synchronized audio to one or more devices that receive audio.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

AoA	Angle of Arrival
AoD	Angle of Departure
Bluetooth LE	Bluetooth low energy
BR	Basic rate
CSA #2	Channel selection algorithm #2
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
EATT	Enhanced Attribute Protocol
EDR	Enhanced data rate
FEC	Forward Error-correcting
GATT	Generic Attribute Profile
GFSK	Gaussian frequency-shift keying
IoT	Internet of Things
ISM	Industrial, Science and Medical
LE	Low Energy
L2CAP	Logical link control and adaptation protocol
Mesh	Mesh Enabled Spontaneous Hosts
MTU	Maximum Transmission Unit
MWS	Mobile Wireless Standard
PHY	Physical Layer
SAM	Slot Availability Mask
SIG	Special Interest Group
SoC	System-on-Chip
WLAN	Wireless local area network

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	6
2. Taustatietojen kerääminen.....	7
2.1. Tutkimuksen tarkoitus ja rajaukset	8
3. Bluetooth	9
3.1. Bluetooth yleisesti ja sen kehitys	9
3.2. Versiot.....	10
3.2.1. Bluetooth 1.0-1.2	10
3.2.2. Bluetooth 2.0-2.1	11
3.2.3. Bluetooth 3.0.....	11
3.2.4. Bluetooth 4.0-4.2	11
4. Bluetooth 5 uudet ominaisuudet.....	12
4.1. Slot Availability Mask (SAM).....	12
4.2. Core Specification Addendum 5 (CSA 5).....	13
4.3. 2 Msym/s PHY for LE	13
4.4. LE Long Range	13
4.5. LE Advertising Extension	14
4.6. High Duty Cycle Non-Connectable Advertising	14
4.7. LE Channel Selection Algorithm #2	14
4.8. Angle of Arrival (AoA) and Angle of Departure (AoD)	14
4.9. GATT Caching.....	15
4.10. LE Isochronous Channels.....	16
4.11. Enhanced Attribute Protocol	16
4.12. LE Power Control.....	17
5. Uudet käyttökohteet.....	18
5.1. LE Audion mahdollisuudet	18
5.2. Älyvalaistus.....	18
5.3. Kantama	19
5.4. Laitteiden paikantaminen	19
6. Pohdinta ja tulevaisuuden näkymät	20
7. Johtopäätökset	21

1. Johdanto

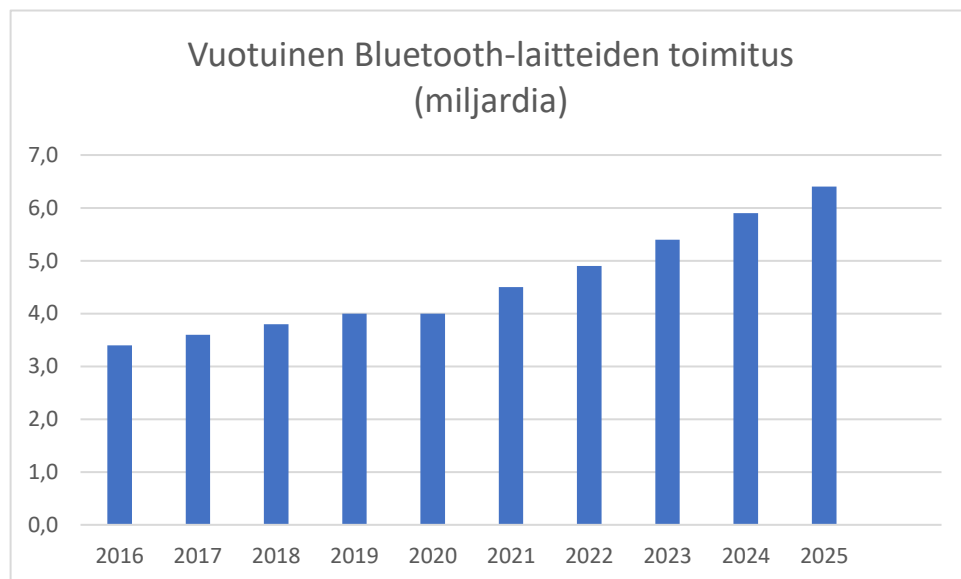
Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan uuden Bluetooth 5 version ominaisuuksia sekä eroja Bluetoothin eri versioiden välillä. Pääpainona vertailussa on kahden uusimman pääversion 4.x ja 5.x välisten versioiden tarkastelussa. Kirjallisessa osiossa vertaillaan versioiden eroja ja tutkitaan, millaisia tutkimuksia muut ovat tehneet. Ja mitä testeistä on saatu tietoa. Näin voidaan vertailla, pitävätkö uudet ominaisuudet paikkansa, myös oikeassa elämässä. Aiheeksi valikoitu Bluetooth, koska se on hyvin monipuolinen lyhyen matkan langaton radiotekniikka. Bluetoothilla on myös monia käyttökohteita, missä sitä voidaan hyödyntää, esimerkiksi langattomissa näppäimistöissä ja älykkäissä valaisin ratkaisuisissa.

Työn tavoitteena on saada yleiskäsitys siitä mikä on Bluetooth, miten se on kehittynyt ja mitä sen avulla voidaan tehdä. Työ kohdistuu enimmäkseen juuri uusimpaan Bluetooth 5 versioon, aluksi kartoitetaan, myös vanhempien versioiden tärkeimpiä ominaisuuksia läpi. Tämän jälkeen sitten keskitytään Bluetooth 5:n ominaisuuksiin.

Työn rakenteena aluksi käydään Bluetoothin taustaa hieman läpi kappaleessa 2. Kappaleessa 3 käydään läpi yleisesti Bluetoothin toimintaa, vanhempia kehitysvaihteita ja aiempiin versioihin ja niiden suurimpiin muutoksiin. Kappaleessa 4 käydään läpi, millaisia uusia ominaisuuksia Bluetooth 5 on tuonut mukanaan. Tämän jälkeen kappaleessa 5 käydään läpi tärkeimpiä käyttökohteita, ja millaisissa tilanteissa niitä voidaan hyödyntää.

2. Taustatietojen kerääminen

Langattomien laitteiden määrän kasvaessa ja ABI Researchin ennusteen mukaan vuonna 2025 Bluetooth-laitteita toimitetaan jo yli 6 miljardia vuodessa [1]. Bluetooth on alun perin Ericssonin kehittämä menetelmä langattomaan tiedonsiirtoon ja tämän seurauksena perustettiin Bluetooth Special Interest Group SIG. Bluetooth on langaton tiedonsiirtotekniikka lyhyelle kantamalle, siitä on vuonna 2016 tullut viimeisin pääversio 5.0 ja vuonna 2021 versiopäivitys 5.3 [2] [3] [4].



Kuva 1 Bluetooth laitteiden toimitusmäärät [1]

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kartoittaa Bluetooth 5 eri versioihin tulleita uusia ominaisuuksia ja millaisissa tilanteissa niitä voidaan hyödyntää. Bluetooth on hyvin yleinen protokolla, esimerkiksi puhelimissa, tietokoneissa, langattomissa kuulokkeissa ja esineiden internetissä englanniksi, Internet of Things, (IoT) käytetään kyseistä protokollaa. Tämän ansiosta se mahdollistaa monien erilaisten toiminnallisuuksien käytön, esimerkiksi puhelimella langattomasti muiden laitteiden ohjaamisen, terveydenhoidossa langattoman tiedonsiirron hoitolaitteista tietokoneelle ja kahden IoT laitteen välistä kommunikointia.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia protokollan uusien toimintojen peruseräitä ja lisäksi kuinka uusia ominaisuuksia voidaan hyödyntää arkielämän tilanteissa. Toimintoja pyritään tutkimaan mahdollisimman kattavasti ja luonnollisissa, todellisissa tilanteissa.

Tarkoituksen onkin ymmärtää ja tulkita jonkun valitun ilmiön esiintymisen merkitystä. [Tutki ja kirjoita]. Tämä tutkimusprosessi on toteutettu aineistolähtöisesti eli laadullisesti. Aineistoa haettiin Googlasta, Google Scholarista ja LUT Primosta sanoilla:” Bluetooth 5”, ”Bluetooth 5 Specification”, “Bluetooth 5 Dual Audio”, “Bluetooth Version Comparison”, “Bluetooth 5 IoT”, etenkin Bluetooth.com sivuilta löytyvää materiaalia käytettiin lähteenä.

2.1. Tutkimuksen tarkoitus ja rajaukset

Tutkimuksen tarkoitus voi olla kartoittava, kuvaileva, selittävä tai ennustava [5]. Tämän työn tarkoituksena on kuvailla, kartoittaa ja selittää Bluetoothin uusia ominaisuuksia. Tämän työn tavoitteena on tutkia ja kuvata Bluetooth 5:den uusia ominaisuuksia ja tarkastella tiedonsiirtotekniikan hyödyntämismahdollisuuksia erilaisissa käyttötarkoituksissa. Kuvausten avulla pystyttiin havainnollistamaan, mitä uusilla ominaisuuksilla on mahdollista saada aikaiseksi ja minkälaisiin tilanteisiin ne sopivat.

Tavoite kertoo kenelle ja millaista tietoa hyötyä tai osaamista työn avulla saavutetaan. Tämän työn hyötyinä ovat ensimmäisen tutkimuksen tekeminen ja oppiminen erilaisista vaiheista, joita tutkimuksen tekemiseen liittyy. Lisäksi hyötynä on tuottaa suomenkielistä materiaalia, tiedonsiirtotekniikasta, koska tällä hetkellä on saatavissa vain vähän suomenkielistä teknistä tietoa asiasta.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan vertailemalla tarkemmin, millaisia parannuksia uusi versio on tuonut. Bluetooth 5 version myötä kantama ja siirtonopeus on parantunut ilman virrankulutuksen lisääntymistä, esimerkiksi kantaman on luvattu nousevan 50 metrillä 200 metriin [2] Siihen on myös lisätty tuki ”Mesh Enabled Spontaneous Hosts” mesh-verkoille, joka mahdollistaa verkon muodostumisen, missä moni laite keskustelee useamman laitteen kanssa (monta-monelle).

Kandidaatintyön aihe kytkeytyy langattomien laitteiden kasvavaan käyttöön ja niiden yhä suurempaan käyttöön jokapäiväisessä elämässä, niin teollisuudessa kuin ihmisten arjessa. Ja kuinka Bluetoothin uusin versio vaikuttaa kehityksen kulkuun.

Työssä käydään läpi yleisesti Bluetoothin vanhempien versioiden suurimmat muutokset, vain yleisesti. Bluetooth 5 ja sen eri aliversioiden ominaisuudet ovat käyty tarkemmin läpi ja annettu muutamia esimerkkejä. Tässä työssä kaikista uusista ominaisuuksista ei ole nähty tarpeelliseksi antaa esimerkkejä vaan kaikkein tärkeimmistä parannuksista.

3. Bluetooth

Tässä kappaleessa käydään läpi Bluetoothia yleisesti. Mistä Bluetooth on saanut alkunsa ja ketkä ovat olleet kehittämässä sitä. Kuinka sen kehitys on edennyt ja millaisia versioita Bluetoothilla on ollut sen historian aikana.

3.1. Bluetooth yleisesti ja sen kehitys

Bluetooth on lyhyelle kantamalla radiotekniikka, jota käytetään langattomaan tiedonsiirtoon. Bluetooth voidaan jakaa karkeasti kahteen eri kategoriaan, Bluetooth Classic ja Bluetooth Low Energy (LE). Bluetooth Classic, josta myös käytetään nimeä Basic Rate/Enhanced Data Rate tukee pisteestä pisteeseen tapahtuvaa laiteviestintää. Bluetooth LE tukee pisteestä pisteeseen, pisteestä monelle (broadcast) ja mesh monta monelle laiteviestintää. [6]

Bluetoothin avulla saadaan dataa siirrettyä helposti ja monipuolisesti niin kahden kuin useamman laitteen välillä. Bluetooth käyttää ISM-taajuusaluetta (Industrial, Science and Medical) 2,4–2,485 GHz:n välillä. ISM-taajuusalue on tarkoitettu teollisiin, tieteellisiin, lääketieteellisiin, kotitalouskäyttöön tai vastaaviin tarkoituksiin, eikä sen käyttö vaadi erityistä lupaa. Data on jaettu paketteihin, joita lähetetään vaihtelemalla taajuutta. Tämän avulla pystytään välttämään liiallinen datan siirto tietyllä taajuudella ja välttämään häiriöitä. Näin ollen datapaketit saadaan lähetettyä kuitenkin vastaanottavalle laitteelle. Versioiden erot ovat yleisesti etäisyyden kasvaminen, tiedonsiirtonopeuden kasvaminen ja tehokkaampi virrankäyttö eli pienemmällä virtamäärällä voidaan siirtää sama datamäärä [7].

Vuonna 1994 ruotsalainen Ericssonin aloitti kehittämään Bluetooth standardia. Motiivina Ericssonilla oli saada järjestelmästä onnistunut ja käyttökelpoinen, niin että tekniikkaa tulisi käyttöön mahdollisimman monella kannettavalla laitteella. Ja helmikuussa vuonna 1998 viisi yritystä Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba ja Intel perusti Group of Special Interest (SIG), jonka tarkoituksena on olla yritysten globaali yhteisö, joka palvelee yhtenäistämistä, yhdenmukaistamista ja innovaatioiden luomista laajalla alueella langattomien laitteiden valikoimaa. Tänä päivänä Bluetooth SIG:ssä on mukana jo yli 36 000 yritystä. [8][9][10]

3.2. Versiot

Seuraavissa alakappaleissa käsitellään Bluetoothin eri versioita. Kappaleissa käydään läpi vain merkittävimmät muutokset vanhemmista versioista. Bluetooth laitteisto on täysin yhteensopiva aiempien Bluetooth-versioiden kanssa. Näin ollen esimerkiksi Bluetooth 5.2 laitteet toimivat saumattomasti ainakin teoriassa [11] vanhempien Bluetooth 4.2 laitteiden kanssa. Yleisesti ottaen uusi versio on tuonut muutoksia käytettäviin algoritmeihin ja tuettuihin ominaisuuksiin.



Kuva 2 Bluetoothin versioiden aikajana

Bluetooth Classic BR/EDR, sisältää versiot 1.0-3.0. Bluetooth LE on tarkoitettu varsinkin vähätehoiseen käyttöön. Bluetooth LE:hen kuuluu 4.0:sta eteenpäin olevat versiot.

Bluetooth LE on tarkoitettu varsinkin vähätehoiseen käyttöön. Bluetooth LE:hen kuuluu 4.0:sta eteenpäin olevat versiot. Sen käytössä on 40 kanavaa, jotka toimivat käyttäen hyödyksi taajuushyppelyä. Taajuushyppelyssä lähettävä laite vaihtaa taajuutta määrätyn algoritmin mukaan. Näin ollen Bluetoothissa on 40 kanavaa, minkä välillä laitteet voivat vaihdella millä kanavalla data kulkee.

3.2.1. Bluetooth 1.0–1.2

Bluetooth 1.0 on ensimmäinen virallinen versio Bluetoothista ja se julkaistiin vuonna 1999. Alkuperäinen tarkoitus oli korvata johdolliset yhteydet langattomilla laitteilla. Bluetooth protokolla oli aluksi hidas ja sen nopeus oli vain 1 Mbps (megabittiä sekunnissa) ja kantama oli 10 metriä [12]. [3]

3.2.2. Bluetooth 2.0-2.1

Bluetooth 2.0 julkaistiin vuonna 2004, tärkeimpiä muutoksia oli nopeuden kasvaminen 3 Mbps ja taajuussiirtokoodaus vaihtui version 1.0 Gaussian Frequency Shift Keyingistä (GFSK) joko PI/4-Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK)- tai 8DPSK-modulaatiota. [13]

3.2.3. Bluetooth 3.0

Bluetooth 3.0 julkaistiin vuonna 2009, tämän version parannuksia oli vieläkin nopeampi 24 Mbps yhteys ja joka oli mahdollista, koska siinä käytettiin 802.11 Wireless local area network (WLAN) langatonta lähiverkkoa nopeuden saavuttamiseksi.

3.2.4. Bluetooth 4.0-4.2

Bluetooth 4.0 julkaistiin vuonna 2010, se oli ensimmäinen Bluetooth versio, missä oli mukana Low Energy (LE), minkä myötä virrankulutus pieni. Tämä mahdollisti Bluetooth laitteiden hyödyntämisen pienemmissäkin, patterilla varustetuissa laitteissa.

4. Bluetooth 5 uudet ominaisuudet

Tässä osiossa käydään läpi, kuinka Bluetooth on uudistunut uuden version myötä. Bluetooth Core Specification 5.0, 5.1 ja 5.2 toi mukanaan monia uusia ominaisuuksia. Uuden version myötä Bluetooth sai kaksi uutta fyysistä kerrosta eng. Physical Layer (PHY), jonka jälkeen niitä on jo Bluetooth 4:ssä oleva LE 1M, ja uudet LE 2M ja LE Coded kerrokset. LE 2M PHY:n avulla tiedonsiirtonopeus kasvoi 2Ms/s ja LE Coded kasvatti nelinkertaiseksi kantamaa verrattuna vanhempaan Bluetooth 4:n lisäämättä kuitenkaan virrankulutusta. Tämän ansiosta nyt valittavana on neljä eri nopeutta eri tarkoituksiin 125 kbps, 500 kbps, 1Mbps ja 2Mbps. Pienemmän tiedonsiirtonopeuden avulla saavutetaan pidempi kantavuus. Bluetooth 5 kanssa julkaistiin myös uusi Slot Availability Mask (SAM), jonka avulla pystytään synkronoimaan käytetyt Mobile Wireless Standard (MWS) kaistat. Bluetooth 5 myötä parantui myös kanavanvalinta algoritmi englanniksi channel selection algorithm (CSA #2), jonka avulla kanavanvalinta algoritmi parani ja parantaa kanavan valintaa sekä rinnakkaista toimintaa muiden laitteiden kanssa, molempien Bluetoothilla toimivien ja muiden samalla taajuudella toimivien laitteiden välillä. [14][3]

Bluetooth julkaisi 3.7.2021 version 5.3, joka jatkaa Bluetoothin kehitystä eteenpäin tuoden useita parannuksia salausavaimien hallintaan ja kanavienluokitukseen. Näin ollen Bluetooth 5.3 pitäisi parantaa luotettavuutta, energiatehokkuutta ja käyttäjäkokemusta yhä paremmaksi Bluetooth laitteissa. [4]

4.1. Slot Availability Mask (SAM)

Slot Availability Mask (SAM), on tekniikka, jonka avulla pystytään synkronoimaan käytetyt langattomat mobiili kaistat standardi englanniksi Mobile Wireless Standard (MWS). Tämän avulla muut ISM kaistalla olevat laitteet pystyvät toimimaan paremmin rinnakkain, kun ne antavat ja saavat tietoa minkä avulla laitteet pystyvät tarkentamaan aikataulutustaan missä paikassa ne, milloinkin ovat. [3]

Paikan arvo	Merkitys
0	Paikka ei ole käytettävissä lähetystä tai vastaanottoa varten.
1	Paikka on käytettävissä lähetystä varten, mutta ei vastaanottamista.

2	Paikka on käytettävissä vastaanottoa varten, mutta ei lähetystä vasten.
3	Paikka on käytettävissä sekä lähetykseen, että vastaanottamiseen.

Taulukko 1SAM paikan eri arvojen selitys [3]

Bluetooth-paikka:	M	S	M	S	M	S	M	M	S	M	S
Voi lähettää	X	X	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	X
Voi vastaanottaa	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Paikan arvo	2	0	1	1	1	2	2	3	3	3	2

Taulukko 2Esimerkki SAM paikkojen toiminnasta

4.2. Core Specification Addendum 5 (CSA 5)

Ydinspesifikaation lisäys sisältää yhden tai useamman osan muutoksia tai niiden yhdistelmiä. Lisäyksiä käytetään korvaamaan osia tai lisäämään uusia osia sääntöjen mukaisesti. CSA 5:ssa maksimi lähtötehoa on lisätty entisestä 10mW:sta 100mW:in [15]. [3]

4.3. 2 Msym/s PHY for LE

Bluetooth 5 myötä tuli valinnaiseksi, 2 Msym/s symbolinopeus, jonka avulla lähetyksenopeus kaksinkertaistui aikaisempaan 1 Msym/s verrattuna. LE 2M PHY tukee vain koodaamatonta dataa. Uuden version huippu tiedonnopeus on 2 Mbps. Tämän avulla esimerkiksi laiteohjelmistopäivitykset pystytään suorittamaan nopeammin langattomasti. Edellisessä Bluetooth 4 oli kaistanleveys 1 MHz, kuin taas uudessa versiossa se on kasvatettu 2 MHz.[16] [3]

4.4. LE Long Range

Bluetooth LE Long Range on pitkän kantaman ominaisuus, jonka avulla lisätään kantamaa ilman, että lähtöteho kasvaisi. Toiminta perustuu eteenpäin virheenkorjauskoodin engl. (Forward Error-correcting Codes) (FEC) lähetykseen laitteistotasolla. Siksi sillä onkin toinen termi Coded PHY. Teoreettisesti Bluetoothin käyttäessä alemmaa datanopeutta 125 Kbps on kantama nelinkertainen verrattuna 1 Mbps datanopeuteen. [17]

4.5. LE Advertising Extension

Bluetoothissa on toiminto, jonka avulla laitteet voivat lähettää tietoja, jotka määrittelevät laitteen tarkoituksen, tätä kutsutaan mainostukseksi. Näitä mainoksia, pystytään lähettämään toisiin laitteisiin ilman, että laitteet ovat yhdistetty toisiinsa aikaisemmin. Esimerkiksi Bluetooth majakka voi lähettää tietoja nähtävyydestä, jonka vierellä olet.

Bluetooth 4 edellä mainittuja mainoskanavia on 3 ja ne ovat toimineet kanavilla 37, 38 ja 39, ja ne kaikki ovat kuljettaneet niin otsikon kuin myös hyötykuorman. Kuitenkin Bluetooth 5 myötä tähän on tullut muutos. Mainoskanavat ovat luokiteltu kahteen ryhmään, ensisijaisiin ja toissijaisiin. Ensisijaiset mainoskanavat ovat samanlaiset, kuin Bluetooth 4:ssa. Toissijaiset kanavat käyttävät vain kanavaa 37. Näiden mainoskanavien avulla esimerkiksi jääkaappi, mikä on verkossa kiinni, voi lähettää tietoja esimerkiksi lämpötilasta, akun varaustason, oven avaamiskertojen määrän ja jopa ilmoittaa huollon tarpeesta [18] [14].

4.6. High Duty Cycle Non-Connectable Advertising

Bluetoothin mainosväliä on pienennetty 100ms:sta 20ms:in yhdistämättömään mainontaan. Hyötyinä tästä on, että mainospaketit pystytään tunnistamaan ja vastaanottamaan nopeammin laitteissa, esimerkiksi majakoissa, engl. (beacon). [14].

4.7. LE Channel Selection Algorithm #2

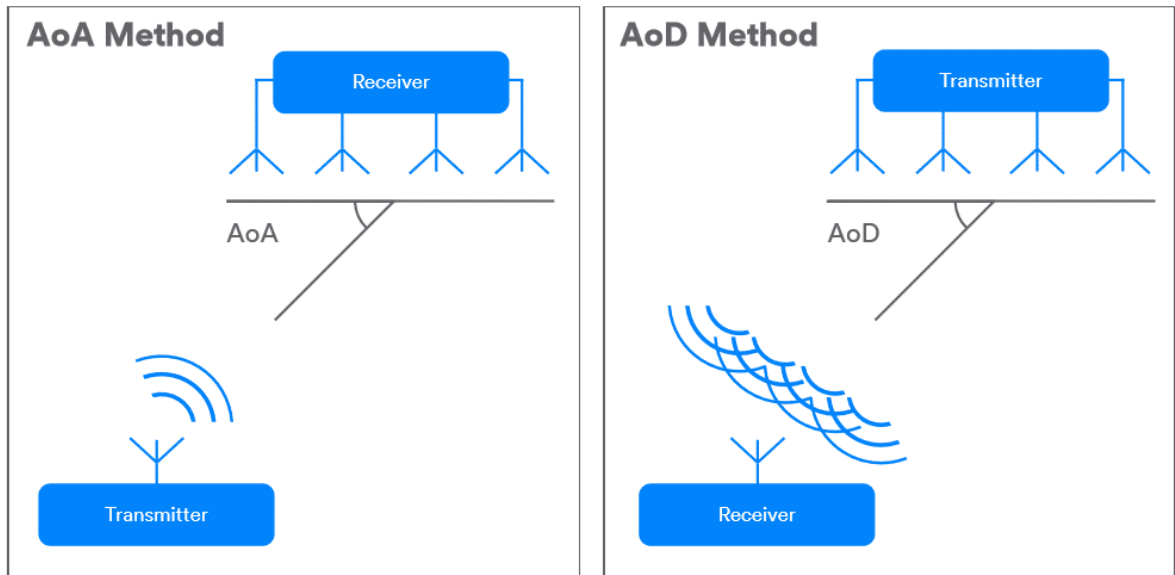
Kanavanvalinta-algoritmi #2 (CSA #2) on monimutkaisempi ja vaikeampi seurattava algoritmi kanavien siirtojen välillä. Se on tehokkaampi välttämään häiriöitä ja monireittäisiä häipymisvaikutuksia kuin CSA #1, varsinkin kuin kyseessä on korkean suorituskyvyn käyttötapaus. [19]

4.8. Angle of Arrival (AoA) and Angle of Departure (AoD)

Bluetooth LE-laitteet voivat lähettää suunnanetsintä paketteja yhdellä antennilla, joiden avulla ne pystyvät määrittämään oman sijaintinsa. Toiminta perustuu siihen, että vastaanottimessa on useampi antenni, jotka saa lähettävältä laitteelta IQ-näytteitä. Näytteillä voidaan laskea vastaanotetun radiosignaalin vaihe-ero käyttämällä antenniryhmän eri

elementtejä, joita puolestaan voidaan käyttää arvioimaan saapumiskulma englanniksi Angle of arrival (AoA). Ominaisuus on tuettu LE Uncoded PHY:llä, mutta ei LE Coded PHY:llä.

Laite, joka koostuu radiotaajuuskytkimestä ja antenniryhmästä, voi tehdä lähtökulman englanniksi Angle of Departure (AoD) havaittavaksi lähettämällä suuntaa etsiviä paketteja vaihtamalla antenneja lähetyksen aikana. [3]



Kuva 3AoA:n ja AoD:n lähtökulmien havainnointi[20]

4.9. GATT Caching

Yleinen määriteprofiili englanniksi Generic Attribute Profile (GATT) laitteet sisältävät tietokannan, joka on attribuuttitaulukko. Se sisältää GATT-palvelun, ominaisuudet, rakenteellisen selityksen sekä arvot. Tämä on tärkeä tekijä GATT-pohjaisten Bluetooth LE laitteiden toiminnassa. GATT-palvelun etsiminen vie aikaa ja kuluttaa energiaa, tämän takia Bluetooth 5.1 versiossa otettiin käyttöön GATT-välimuististrategia. Tämän tarkoituksena on se, että asiakaslaite voi ohittaa tietojen tarkistamisen, jos mikään ei ole muuttunut edellisestä tarkistuksesta. Tähän onkin otettu käyttöön kaksi uutta ominaisuutta tietokannan hajautus englanniksi Database Hash ja asiakkaan tukemat ominaisuudet englanniksi Client Supported Features. Asiakkaat, joilla ei ole luotettavaa suhdetta palvelimeen, voivat nyt tallentaa välimuistiin määrittystaulukon yhteyksien yli, jos asiakas tukee uutta Database Hash-ominaisuutta. Asiakas pystyy päivittämään tiedot palvelimen Client Supported Features -ominaisuudessa. [21]

4.10. LE Isochronous Channels

Tämä ominaisuus, joka on ensisijaisesti suunniteltu tukemaan LE Audiota, seuraavan sukupolven Bluetooth audiota, mahdollistaa ajallisesti sidottujen tietojen viestinnän yhteen tai useampaan laitteeseen aikasykronoitua käsittelyä varten. Sitä voidaan käyttää yhteyksien kautta tai lähettää rajoittamattomalle määrälle laitteita langattomasti. Uudet käyttötapaukset ja topologiat ovat mahdollistaneet LE samanaikaiset kanavat englanniksi Isochronous Channels. Lähettävä laite voi lähettää synkronoitua ääntä yksittäisille laiteryhmille (henkilökohtainen äänen jakaminen) tai suuriin ryhmiin rajoittamattomia laitteita julkisissa tiloissa, kuten esimerkiksi elokuvateattereissa. Musiikin jakaminen on kuitenkin vain yksi sovellus. Uusien LE-isokronisten kanavien päälle rakennettu LE Audio tarjoaa uuden standardin kuulolaitteille ja tukitoiminnolla toimiville kuulojärjestelmille eri paikoissa, kuten teattereissa, konferensseissa, luentosaleissa ja lentokentillä. On odotettavissa, että monikieliset äänijärjestelmät ovat mahdollisia osittain LE-isokronisten kanavien ja sitä käyttävien uusien Bluetooth-ääniprofiilien ansiosta. [6]

4.11. Enhanced Attribute Protocol

Attribuuttiprotokollan (ATT) parannettu versio, nimeltään Enhanced Attribute Protocol (EATT), on otettu käyttöön ja siihen liittyviä parannuksia yleiseen attribuuttiprofiiliin (GATT). EATT tukee samanaikaisia tapahtumia, sallii Logical link control and adaptation protocol L2CAP-pakettien lomituksen eri sovellusten ATT-paketteihin ja sallii ATT-maksimilähetyksikön, ATT Maximum Transmission Unit (MTU) vaihtamisen yhteyden aikana. Nämä muutokset voivat yhdessä tarjota paremman käyttökokemuksen laitteissa, joissa on useita sovelluksia, jotka käyttävät samanaikaisesti Bluetooth Low Energy (LE) -pinoa, vähentämällä tapauksia, joissa yhden sovelluksen pinon käyttö estää väliaikaisesti toisen pinon käytön. Tämä voi vähentää yhden tai useamman sovelluksen päittäin-viivettä (end-to-end latency) ja parantaa käyttäjän reagoitokykyä. EATT:n tueksi on määritelty uusi L2CAP-tila. Uusi tila on nimeltään L2CAP Enhanced Credit Based Flow Control Mode. Tämä tila tarjoaa virtauksen hallinnan ja antaa sovellusten siten pitää protokollaa luotettavana. EATT:lla on tietoturvaetuja parantamattomaan ATT:hen verrattuna, koska sitä voidaan käyttää vain salatussa yhteydessä. [6]

4.12. LE Power Control

Uuden LE Power Control -ominaisuuden avulla laitteet voivat optimoida dynaamisesti liitettyjen laitteiden välisessä viestinnässä käytetyn lähetystehon. Bluetooth LE -vastaanottimet voivat nyt seurata signaalin voimakkuutta ja pyytää lähetystehotason muutoksia yhdistetyissä laitteissa, yleensä ylläpitääkseen optimaalisen signaalin voimakkuuden sekä signaalin laadun, että matalan virrankulutuksen näkökulmasta. Bluetooth-ohjain voi seurata ja raportoida reittien menetyksiä Bluetooth-isännälle käyttämällä vyöhykekonseptia, josta jotkut sovellustyypit ovat hyödyllisiä. LE Power Control -ominaisuuden etuja ovat, että lähettimien kokonaisenergiankulutuksen vähentäminen dynaamisen virranhallinnan avulla kytkettyjen laitteiden välillä. Luotettavuuden parantuminen vastaanottimen signaalinvoimakkuuden aktiivisen ylläpidon avulla siten, että se pysyy vastaanottimen tukemalla optimaalisella alueella. Parannukset rinnakkaiseloon muiden ympäristössä olevien ja 2,4 GHz:n taajuusalueita käyttävien langattomien laitteiden kanssa. Tämä etu koskee kaikkia tällaisia laitteita, ei vain pelkästään Bluetoothia käyttäviä laitteita. [6]

5. Uudet käyttökohteet

Tässä kappaleessa käydään läpi, kuinka Bluetooth 5 uusia ominaisuuksia pyritään hyödyntämään ja minkälaisissa paikoissa niitä pystytään ottamaan käyttöön. Bluetoothin ollessa jo useamman vuoden kuitenkin markkinoilla. Tutkimukseen käytettiin hakutuloksia, minkälaisia tuotteita on jo markkinoilla. Lähteenä käytettiin etenkin bluetooth.com omaa blogia, mistä löytyi erittäin kattavasti, millaisia viimeisimpiä tapahtumia ja tulevaisuuden odotuksia liittyy Bluetoothiin.

5.1. LE Audion mahdollisuudet

Bluetoothissa on jo aikaisemmin ollut Classic Audio, perinteiseen langattomaan musiikin kuunteluun käyttäessä. Kuitenkin Bluetooth LE:n myötä kehitettiin LE Audio, minkä ansiosta on pystytty kehittämään uusia ominaisuuksia, jotka lupaavat parantaa suorituskykyä sekä mahdollistaa uusien tuotteiden ja käyttötapausten luomisen.

Multi-Stream Audion avulla yksi laite, esimerkiksi älypuhelin, voi lähettää synkronoitua ääntä yhteen tai useampaan laitteeseen, jotka vastaanottavat ääntä. Tätä ominaisuutta käytetään täyslangattomissa nappikuulokkeissa.

Broadcast Audion avulla ihmiset voivat käyttää omia Bluetooth kuulokkeita elokuvateattereissa tai konferensseissa ja kuunnella sijaintiin perustuvasti musiikkia tai infoja. [22]

BluOS on monihuone audio tekniikka, joka antaa käyttäjän hallita kaikkia musiikkia ja suoratoistoa suoraan puhelimelta, tabletilta ja tietokoneelta mitkä tukevat BluOS:ssä. Sen avulla pystyy kuuntelemaan samaan aikaan monella laitteella samaa musiikkia langattomasti. BluOS:n mukaan se pystyy soittamaan häviämätöntä musiikkia jopa 24-bittiä/192kHz ilman viivettä ja äänen laadun heikkenemistä. [23]

5.2. Älyvalaistus

Bluetoothin ominaisuuksien kuten, hajautetun ohjausarkkitehtuurin, virtuaalisten osoitteiden julkaiseminen sekä tilaaminen ja hallittu tulvaviestintä. Kaupalliset

valaistusjärjestelmät ovat tarkoitettu esimerkiksi toimistotiloihin, myymälöihin ja sairaaloihin, joiden alkukustannukset ovat korkeammat, pidemmät käyttöiät ja korkeammat huoltokustannukset kuin asuinvalaistusjärjestelmissä. Älykkäät ja automaatio ratkaisut ovat viime vuosina kehittyneet valaistuksessa. Tärkeimpiä syitä ovat energiakustannusten laskeminen ja käyttäjä kokemuksen parantaminen. [24]

5.3. Kantama

Nordic Semiconductorin tekemien testien mukaan, jossa keskityttiin juuri kantaman kasvamiseen ilman, että lähetysteho kasvaisi huomattavasti. Testissä lähetystehoja haluttiin välttää kasvattamasta, koska oikeissa tilanteissa se rajaisi pois pienempien paristojen käytön.

Testit tehtiin kahdella tavalla. Toisessa laitteet oli yhdistetty toisiinsa, eli laitteet oli paritettu toisten kanssa. Toisessa testissä laitteita ei ollut yhdistetty vaan, ne olivat joko muodostamassa yhteyttä tai toista laitetta käytettiin majakkana.

Tuloksina yhdistetyille laitteille saatiin 681,9 metriä 1 Mbps PHY:llä ja 1300 metriä Coded PHY:llä. Näin ollen etäisyys kasvoi melkein kaksinkertaisesti, kun siirryttiin 1 Mbps PHY:stä Coded PHY:lle. Yhdistämättömien laitteiden kanssa tulokset olivat 1 Mbps PHY:llä 654,92 metriä ja Coded PHY:llä 1300 metriä.[25]

5.4. Laitteiden paikantaminen

Bluetooth sijaintipalvelut ovat nopeimmin kasvava ratkaisualue, ja niillä uskotaan olevan 6-kertainen kasvu vuoteen 2023 mennessä, jolloin niitä arvioidaan toimitettavan 431 miljoonaa kappaletta. Tämä johtuu suurelta osin uusien suunnanmääritysominaisuuksien lisäämisestä, joita Bluetooth-yhteisö jo käyttää Bluetooth-paikannuspalveluratkaisujen suorituskyvyn parantamiseen. [20]

Saapumiskulmaa (AoA) käytetään liikkuvien laitteiden, kuten varastotrukkien tai sairaalassa olevien potilaiden, liikkuvien lähettimien jäljittämiseen. AoA:n kanssa, kiinnipidettävä laite käyttää signaalin lähettämiseen yhtä antennia. Vastaanotin on varustettu joukolla useita antennia, joita se käyttää arvioimaan lähetettävän signaalin kulman. AoA lasketaan vaihesiirron eron perusteella, kun lähetetty signaali vastaanotetaan jokaisessa antennissa. Koska antennien välinen etäisyys on kiinteä ja vastaanotin tietää, se voi arvioida laitteen liikkuman suunnan. [26]

6. Pohdinta ja tulevaisuuden näkymät

Bluetooth 5.0, 5.1, 5.2 ja 5.3 tuo mukanaan useamman uuden ominaisuuden, jonka ansiosta se on yhä monipuolisemmin käytettävissä, niin yksilön kuin myös yritysten käytössä. Sen tuodessa monia uusia mahdollisuuksia, kuten älykkäät valaisin kokonaisuudet osoittavat mitä kaikkea voidaan toteuttaa tämän standardin avulla. Eräs ominaisuus voisi olla virrankulutuksen minimointi, tähän kannattaisi kiinnittää enemmänkin huomioita, koska käytössä on yhä suurempi määrä laitteita esimerkiksi samassa kotitaloudessa. Näin ollen voitaisiin säästää kulutettua energiaa, joka olisi taas ympäristöystävällisempääkin. Näitä ominaisuuksia on jo tekoäly ja koneoppimisen kanssa hyödynnetty [27].

Voisi kuvitella, että tulevaisuudessa laitteet pystyvät keskustelemaan toistensa kanssa yhä enemmän, tästä onkin paljon esimerkkejä teollisuuden puolelta [28], kuitenkin kotitalous puolelta ongelmana ainakin vielä on ollut, että laitteet eivät ole yhteensopivia [29]. Näin voitaisiin kotona säästää sähköä, kun ihmiset eivät ole kotona ja yhä suurempi osa laitteista menee lepotilaan. Olisi sitten kyse valaistuksesta tai muista kodin elektroniikasta.

Aivan uusiakin mahdollisuuksia varmasti Bluetoothin uudet ominaisuudet antavat, joita ei ole vielä ainakaan yleisesti käytössä. Näitä voisi olla, vaikka vanhuksien kotona liikkumisen seuranta AoA:n avulla, jolloin jos vanhus jää pitkäksi aikaa huoneeseen, missä hän ei yleensä vietä aikaa, voitaisiin lähettää viesti tai apua hänelle automaattisesti. Samalla tavalla, Bluetooth voisi tarjota uusia mahdollisuuksia tuotteiden ns. laivastot eli fleet [30] tason hallintaan, kuten Husqvarnan fleet service tuotteella voidaan tehdä [31].

Bluetoothin kehittyessä yhä enemmän on mielenkiintoista seurata myös tulevaisuudessa mihin suuntaan Bluetoothin kehitys kulkee. Ja kuinka se ratkaisee tulevaisuudessa tulevat ongelmat.

Bluetoothin kehitys jatkuu koko ajan, joten tulevaisuudessa saamme nähdä vieläkin enemmän ominaisuuksia, mihin Bluetooth kykenee. Nämä tietenkin jäävät arvailujen varaan, mutta näitä voisi olla vielä laajempi tuki IoT laitteiden tarpeisiin, missä mm. teollisten sovellusten kehitys [32] on ollut viime aikoina vilkasta. Näin laitteiden välinen kommunikaatio voisi helpottua ja ne voisivat kerätä tarkempaa dataa ympäristöstään.

7. Johtopäätökset

Tässä työssä tutkittiin, millaisia uusia ominaisuuksia Bluetoothin uusin versio tarjoaa ja millaisissa käyttökohteita ominaisuuksille on keksitty. Bluetooth 5 mahdollistaa, yhä laajemmin langattomien laitteiden ja etenkin IoT laitteiden käytön. Tarjoten uusia ominaisuuksia parempaan ja energiatehokkaampaan käyttöön. Huomattavimmat ominaisuudet tavalliselle käyttäjälle tulee olemaan musiikin kuunteluun liittyvät ominaisuudet, kuten Dual Audio sekä Multi-Stream.

Laitteiden määrän kasvaessa on tärkeää, että ne voivat toimia pienelläkin alueella ilman häiriötä toisista samoilla taajuuksilla toimimista. Tähän on saatu ratkaisuksi SAM-tekniikka. Sen ansiosta laitteet pystyvät kommunikoimaan toistensa kanssa. Välttymään näin käyttämästä samaa taajuutta datan lähettämiseen tai vastaanottamiseen.

Laitteistotasolla tapahtuvia muutoksia, ei aina arkielämässä huomaa. Kuitenkin niistä on paljon hyötyä erilaisissa tilanteissa. Esimerkiksi LE Power Controllin avulla saadaan optimaalisesti lähetettyä dataa juuri sopivalla voimakkuudella. Säästäen näin virtaa, mutta kuitenkin data pääsee siirtymään ilman signaalin heikkenemistä.

Bluetooth 5.3 tulleita ominaisuuksien läpikäymistä olisi voinut käydä vielä enemmän läpi. Kuitenkin siinä tulleita ominaisuuksia on useampia ja kuten esimerkiksi Bluetooth Broadcast Audio Streams, mahdollisuuksia lähettää laajemmalle alueelle musiikkia [33].

Lähteet

- [1] "2021 Bluetooth Market Update", *Bluetooth® Technology Website*, maaliskuu 04, 2021. <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/2021-bmu/> (viitattu heinäkuu 06, 2021).
- [2] "Bluetooth 5.0 - About | Feature | Range | Specification | Advantages", *Amar Infotech*, huhtikuu 30, 2018. <https://www.amarinfotech.com/bluetooth-5-0-guide.html> (viitattu heinäkuu 06, 2021).
- [3] "Core Specification 5.2", *Bluetooth® Technology Website*. <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification/> (viitattu kesäkuu 12, 2021).
- [4] "New Core Specification v5.3 Feature Enhancements", *Bluetooth® Technology Website*, heinäkuu 15, 2021. <https://www.bluetooth.com/blog/new-core-specification-v5-3-feature-enhancements/> (viitattu tammi 08, 2022).
- [5] Hirsjärvi, Sirkka, Pirkko Remes, Paula Sajavaara, and Eila Sinivuori. Tutki ja kirjoita 15. uud. p. Helsinki: Tammi, 2009.
- [6] M. Woolley, "Bluetooth Core Specification Version 5.2 Feature Overview", 2020 (viitattu heinäkuu 11, 2021)
- [7] BLUETOOTH, S. I. G. Bluetooth network encapsulation protocol (BNEP) specification. *Revision 0.95 a, June*, 2001.
- [8] "The history of Bluetooth", *Android Authority*, maaliskuu 23, 2018. <https://www.androidauthority.com/history-bluetooth-explained-846345/> (viitattu kesäkuu 13, 2021).
- [9] PUY, Inigo; HEINDL, Eduard. Bluetooth. *Hochschule Furtwangen University*, 2008, 1-20. <https://webuser.hs-furtwangen.de/~heindl/epte-08ss-bluetooth-ingo-puy-crespo.pdf> (viitattu kesäkuu 20, 2021)
- [10] "About Us", *Bluetooth® Technology Website*. <https://www.bluetooth.com/about-us/> (viitattu kesäkuu 21, 2021).
- [11] N. Stokes, "How to Solve Bluetooth Pairing Problems". <https://www.techlicious.com/tip/how-to-solve-bluetooth-pairing-problems/> (viitattu 25. helmikuuta 2022).
- [12] *Bluetooth 4.0, 3.0, 2.0 Difference? - Official Flurance® Blog*. Viitattu: touko 12, 2021. [Verkossa]. Saatavissa: <https://blog.flurance.com/what-are-the-differences-between-bluetooth-5-0-4-0-3-0-and-beyond/>
- [13] Y. Choi, H. B. Lee, S.-B. Park, B.-H. Hong, S.-Y. Lee, ja K. H. Tchah, "A unified GFSK, $\pi/4$ -shifted DQPSK, and 8-DPSK baseband controller for enhanced data rate Bluetooth SoC", *Current Applied Physics*, vsk. 6, nro 5, ss. 862–872, syys 2006, doi: [10.1016/j.cap.2005.04.048](https://doi.org/10.1016/j.cap.2005.04.048).
- [14] SIG, I. Bluetooth. Bluetooth core specification version 5.0. Specification of the Bluetooth System, 2016. Viitattu: touko 24, 2021. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2019/03/Bluetooth_5-FINAL.pdf
- [15] "Bluetooth Core Specification Addendum 5", *Bluetooth® Technology Website*. <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/csa-core-specification-addendum-5/> (viitattu heinäkuu 21, 2021).

- [16] EDN, "Bluetooth 5: More speeds, more range, new RF tests", *EDN*, marras 21, 2017. <https://www.edn.com/bluetooth-5-more-speeds-more-range-new-rf-tests/> (viitattu kesä 30, 2021).
- [17] G. C. Blog, "Tested by Nordic: Bluetooth Long Range". <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/tested-by-nordic-bluetooth-long-range> (viitattu heinä 01, 2021).
- [18] "Exploring Bluetooth 5 -What's New in Advertising?", *Bluetooth® Technology Website*, helmi 27, 2017. <https://www.bluetooth.com/blog/exploring-bluetooth5-whats-new-in-advertising/> (viitattu heinä 01, 2021).
- [19] "Channel Selection Algorithm #2 — BLE5-Stack User's Guide 1.00.00 documentation". http://software-dl.ti.com/lprf/simplelink_cc2640r2_sdk/1.35.00.33/exports/docs/ble5stack/ble_user_guide/html/ble-stack/channel-selection-algorithm-number-two.html (viitattu heinä 01, 2021).
- [20] "A Look Inside Bluetooth Direction Finding", *Bluetooth® Technology Website*, syys 10, 2019. <https://www.bluetooth.com/blog/a-look-inside-bluetooth-direction-finding/> (viitattu tammi 08, 2022).
- [21] M. Woolley, "Bluetooth core specification v5", esitetty tilaisuudessa Bluetooth, 2019.
- [22] "LE Audio", *Bluetooth® Technology Website*. <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/recent-enhancements/le-audio/> (viitattu heinä 23, 2021).
- [23] "BluOS – Premium Multi-room Music Software". <https://bluos.net/> (viitattu 10. huhtikuuta 2022).
- [24] "10 Must-See Networked Lighting Control Resources From 2021", *Bluetooth® Technology Website*, joul 02, 2021. <https://www.bluetooth.com/blog/10-must-see-networked-lighting-control-resources-from-2021/> (viitattu tammi 03, 2022).
- [25] G. C. Blog, "Tested by Nordic: Bluetooth Long Range". <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/tested-by-nordic-bluetooth-long-range> (viitattu heinä 17, 2021).
- [26] "How COVID-19 Changed the Way Location Services Solutions Are Implemented", *Bluetooth® Technology Website*, kesä 10, 2021. <https://www.bluetooth.com/blog/how-covid-19-changed-the-way-location-services-solutions-are-implemented/> (viitattu tammi 08, 2022).
- [27] M. Ghoreishi ja A. Happonen, "Key enablers for deploying artificial intelligence for circular economy embracing sustainable product design: Three case studies", *AIP Conference Proceedings*, vsk. 2233, nro 1, s. 050008, touko 2020, doi: [10.1063/5.0001339](https://doi.org/10.1063/5.0001339).
- [28] Kärri, T., Marttonen-Arola, S., Kinnunen, S. K., Ylä-Kujala, A., Ali-Marttila, M., Ari, A. H., ... & Horn, S. (2017). Fleet-based industrial data symbiosis, Title of parent publication: S4Fleet-Service Solutions for Fleet Management. *Dimecc Pub. Ser.*, (19), 124-169.
- [29] "The Top 5 Problems with Smart Home Tech and How to Troubleshoot Them". <https://www.nachi.org/problems-smart-home-tech.htm> (viitattu 10. huhtikuuta 2022).

[30] T. Kärri, S. Arola, A. Happonen, ja S.-K. Kinnunen, "Traditional and extended fleets in literature and practice: Definition and untapped potential", *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*, vsk. 3, ss. 239–261, heinä 2019, doi: 10.1504/IJSEAM.2019.10029497.

[31]"Connect your fleet to stay in charge", Husqvarna Fleet Services™.
<https://getfleet.husqvarnacp.com/> (viitattu 10. huhtikuuta 2022).

[32] Santti, U., Happonen, A., Auvinen, H., Räsänen, T., Eskelinen, T. (2020), Sustainable Business Model Innovation for Digital Remote Monitoring: A Follow up Study on a Water Lot Service, BIOS Forum 2020, pp. 98-106, doi: 10.5281/zenodo.4290135.

[33]"Introducing LE Audio - Setting Up and Using Broadcast Audio Streams", Bluetooth® Technology Website, 8. maaliskuuta 2022. <https://www.bluetooth.com/blog/introducing-le-audio-setting-up-and-using-broadcast-audio-streams/> (viitattu 10. huhtikuuta 2022).