

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Engineering Science
Tietotekniikan koulutusohjelma

IHMISMÄÄRÄN VISUALISOINTI KERÄTYSTÄ BLUETOOTH- DATASTA

Hugo Hutri

Työn tarkastaja(t): Associate Professor Jouni Ikonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Engineering Science

Tietotekniikan koulutusohjelma

Hugo Hutri

Ihmismäärän visualisointi kerätystä Bluetooth-datasta

Kandidaatintyö 2021

25 sivua, 14 kuvaa, 2 taulukkoa

Työn tarkastajat: Associate Professor Jouni Ikonen

Hakusanat: bluetooth, visualisointi, langattomat laitteet

Keywords: bluetooth, visualization, wireless devices

Tässä työssä tutkitaan miten ihmismäärää voidaan visualisoida Bluetoothilla. Työssä toteutetaan järjestelmä, joka kerää, analysoi ja hahmottaa Bluetooth-laitteet käyttäjälle, ja luo havainnoidusta tilasta virtuaalinäkymän Minecraft-peliin, jossa laitteita voidaan visualisoida immersiiivisesti. Työssä käydään läpi myös muita kirjallisuudessa esiteltyjä havainnointimenetelmiä. Johtopäätöksinä todetaan että käyttäjien havainnoinnissa on haasteita, sillä älypuhelimet ovat harvoin löydettävissä tilassa, jolloin saadut signaalit ovat pitkälti Bluetooth Low Energy -laitteita, eli esimerkiksi kuulokkeita ja muita älylaitteita.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
School of Engineering Science
Degree Programme in Software Engineering
Hugo Hutri

Visualization of people from the collected Bluetooth data

Bachelor's Thesis 2021

25 pages, 14 figures, 2 tables

Examiners: Associate Professor Jouni Ikonen

Keywords: bluetooth, visualization, wireless devices

This study explores how to visualize people in a room with Bluetooth. This study will propose a system, which collects, analyzes, and visualizes Bluetooth devices to the user, and creates a virtual room in Minecraft, where the visualization can be done immersively. Other detection methods found in the literature discussed and studied. This study concludes that detecting the users has challenges because smartphones are most of the time undetectable. Therefore most of the received signals are Bluetooth Low Energy devices, for example, smartwatches and other smart devices.

ALKUSANAT

Kiitos Iljalle.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	3
1.1 TAUSTA.....	3
1.2 TAVOITTEET JA RAJAUKSET.....	4
1.3 TYÖN RAKENNE.....	4
2 BLUETOOTH JA AIEMPI TUTKIMUS.....	5
2.1 BLUETOOTH TEKNOLOGIANA.....	5
2.2 TUTKIMUKSIA BLUETOOTH LAITTEIDEN HAVAINNOINNISTA.....	6
3 JÄRJESTELMÄN TOTETUS.....	9
3.1 BLUETOOTH-SENSORI.....	9
3.2 BACKEND.....	12
3.3 ANALYSOINTI BACKEND-JÄRJESTELMÄSSÄ.....	13
3.4 VISUALISOINTI MINECRAFT-ALUSTALLA.....	16
3.5 VIRTUAALITILA.....	19
4 TULOKSET.....	22
5 POHDINTA JA MAHDOLLISUUDET.....	23
6 YHTEENVETO.....	25
LÄHTEET.....	26

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

AMP	Alternate MAC/PHY
BLE	Bluetooth Low Energy
BR	(Bluetooth) Basic Rate
CSV	Comma-Separated Values
EDR	Enhanced Data Rate
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
JAR	Java ARchive
JSON	JavaScript Object Notation
LE	(Bluetooth) Low Energy
NFC	Near Field Communication
PHY	Physical (layer)
RFID	Radio Frequency Identification
RGB	Red Green Blue
RSS	Received Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SIG	(Bluetooth) Special Interest Group
WLAN	Wireless local area network

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Koronaviruspandemian seurauksena ihmismäärän seuraamisen tarpeellisuus on noussut tärkeään osaan. Ihmismäärää voidaan arvioida kuuntelemalla lähellä olevia langattomia laitteita, sillä älypuhelimet ja –laitteet käyttävät nykyään langattomia yhteyksiä. Yksi yleinen langaton teknologia on Bluetooth, joka valittiin tämän työn työkaluksi ihmisten havainnointiin. Bluetooth päädyttiin, koska se on erittäin paljon käytetty ja sen kantama kattaa yleensä vähintään useita metrejä. Beaconstacin mukaan [1] vuonna 2016 45 % pohjoisamerikkalaisista mobiililaitteiden käyttäjistä jättää Bluetooth-yhteyden päälle. Vuonna 2021 tämä prosenttiosuuden voidaan epäillä olevan suurempi, sillä esimerkiksi Suomessa käytettävä Koronavilkku sovellus käyttää Bluetoothia käyttäjien havaitsemiseen [2] ja sitä on ladattu yli 2,5 miljoonaa kertaa vuoden 2020 aikana [3]. Voidaan siis epäillä että monella suomalaisella on mukanaan Bluetooth laite, joka on päällä ja havaittavissa, mikä mahdollistanee myös ihmismäärän arvioinnin.

Muita vaihtoehtoisia mobiililaitteiden käyttämiä langattomia yhteyksiä Bluetoothin lisäksi ovat muun muassa NFC (Near Field Communication) ja WLAN (Wireless local area network). NFC:n toiminnot löytyvät ISO/IEC-standardeista [4] [5] ja Techradar esittelee julkaisussaan [6] käytännöllisemmin NFC:n toimintaa ja ominaisuuksia, joita ovat muutaman senttimetrin kantama, pieni datamäärä ja langaton RFID-teknologiaan (radio frequency identification) perustuva sirun tunnistaminen. Laitteiden havainnointi NFC:llä ei luultavasti kuitenkaan onnistuisi sen pienen kantaman takia. WLAN on puolestaan useimmiten IEEE 802.11-standardin [7] määrittelemä paikallinen tietoverkko ja sitä käsitellään tarkemmin Technopedian artikkelissa [8]. Artikkelin mukaan WLAN antaa käyttäjien liikkua sen peittoalueella samalla pitäen verkkoyhteyden, joten WLAN on hyvä vaihtoehto havainnointiin Bluetoothin tilalle, mutta se päätettiin jättää työn ulkopuolelle .

Bluetooth teknologiana tarjoaa Businessinsiderin [9] mukaan langattomat yhteydet, joiden keskimääräinen kantama on noin 30 jalkaa, eli noin 10 metriä. Bluetooth SIG -organisaation (Bluetooth Special Interest Group) mukaan Bluetooth on suunniteltu tukemaan laajaa valikoimaa eri kantamia ja käytetystä laitteesta ja olosuhteista riippuen se

voidaan säätää käyttötarkoituksen mukaan metristä jopa yli kilometriin [10]. Tässä työssä Bluetooth-laitteiden kantaman oletetaan olevan noin 10 metrin luokkaa, joka riittää kattamaan ainakin yhden tilan, kuten esimerkiksi aulan.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on luoda järjestelmä, jolla voidaan visualisoida langattomia Bluetooth-laitteita ja niiden määrää alueella. Ajatuksena on luoda järjestelmä, jossa Bluetooth-laitteet ja niistä saatavat tiedot näkyvät. Ikkuna esittäisi myös kokonaiskuvan tilan aktiivisuudesta arvioimalla ihmisten lukumäärää. Työssä selvitetään mitkä ovat Bluetooth-signaaleista saatavan datan rajat ja mahdollisuudet, eli mitä havaitusta yhteydestä voidaan päätellä ja mitkä arvot jäävät suuntaa-antaviksi.

Työssä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- 1 Miten tilan aktiivisuutta voidaan visualisoida Bluetooth-datalla?
 - 1.1. Miten kirjallisuudessa Bluetooth-dataa on havainnoitu?
- 2 Voidaanko datasta päätellä, kuinka paljon ihmisiä tilassa on ollut tietyllä ajanhetkellä?

Työssä selvitetään mitä tietoa Bluetooth-laitteita havainnoimalla voidaan saada ja minkälainen visualisointitapa sopii kerättyyn dataan.

1.3 Työn rakenne

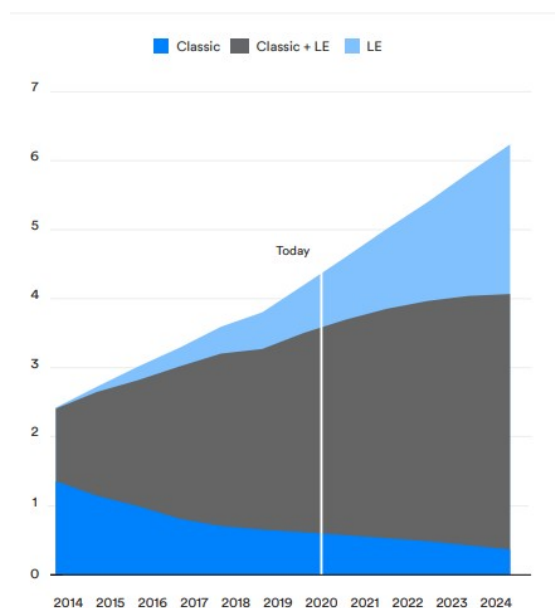
Luvussa 2 esitellään Bluetoothia teknologiana ja käsitellään muita langattomien laitteiden havainnointiin liittyviä tutkimuksia ja miten niissä on visualisoitu ja havainnoitu laitteita. Luku 3 kuvaa rakennettavaa järjestelmää ja siinä hyödynnettäviä teknologioita ja kirjastoja. Luvun lopussa kuvataan myös kehitysprosessi ja sen eteneminen. Luvussa 4 käsitellään kehitystyön ja järjestelmän tuloksia ja luvussa 5 keskustellaan järjestelmän mahdollisuuksista. Lopuksi luvussa 6 esitetään yhteenveto työstä ja mahdollisista jatkokehitysideoista tai vaihtoehtoisista toteutustavoista. Pohditaan myös järjestelmän soveltuvuutta eri tilanteisiin.

2 BLUETOOTH JA AIEMPI TUTKIMUS

Tässä luvussa esitellään työn kannalta olleet Bluetooth yhteyksien ominaisuudet ja erityisesti Bluetooth LE (Low Energy) ja mitä tietoja Bluetooth-signaaleista voidaan päätellä. Lisäksi tutustutaan samankaltaisiin tutkimuksiin ja verrataan niitä tämän työn toteutukseen.

2.1 Bluetooth teknologiana

Ymmärtääksemme Bluetoothin mahdollisuudet käyttäjien havainnoinnissa ja monitoroinnissa käymme läpi tämän työn kannalta oleelliset Bluetoothin ominaisuudet. Bluetooth on Bluetooth SIG -standardointiorganisaation hallinnoima 2,4GHz taajuudella toimiva langaton radioteknologia, jota käytetään niin kaiuttimissa, mobiililaitteiden tiedonsiirrossa kuin tuhansien solmujen automaattioratkaisuissa [11]. Bluetooth on teknologiana ollut olemassa jo yli 20 vuotta ja Zeadally et al. [12] kirjoittamassa artikkelissa teknologia voidaan jakaa kolmeen pääversioon, jotka ovat: BR (Bluetooth Basic Rate) / EDR (Enhanced Data Rate) / Bluetooth Classic, Bluetooth LE (Bluetooth Low Energy) ja Bluetooth Mesh. Bluetooth LE radio on suunniteltu Bluetooth SIG -järjestön [11] mukaan erittäin pienen virran operaatioihin, ja se käyttää 40 kanavaa ja taajuushyppimistä datan välittämiseen. Suuren datamäärän lähettämiseen BR on tehokkaampi, mutta kun tarvitaan lähettää vain pieni määrä dataa kerrallaan ja virrankulutus halutaan pitää pienenä, on Bluetooth LE parempi valinta [13]. Bluetoothin vuoden 2020 markkinoiden päivitys -raportin (Market update 2020) mukaan suurin osa vuotuisista toimituksista on Bluetooth LE standardia ja se pysyy nopeimmin kasvavana Bluetooth-radiona [14]. Allaolevassa kuvassa 1. näkyy eri Bluetooth standardia käyttävien laitteiden vuosittaiset toimitukset ja niiden kehitys, mistä voidaan havaita kuinka laajalti käytetty Bluetooth LE nykyään on. Kuvassa näkyvä ennuste vuodelle 2024 on noin 6,3 miljardia, joka on noin 0,8 laitetta jokaista ihmistä kohden, mikä antaa hahmotuksen siitä minkä kokoisessa suuruusluokassa Bluetoothin kanssa ollaan.



Kuva 1: Vuosittaiset Bluetooth toimitukset miljardeissa [14]

Tilan ihmismäärän arvioinnissa yksi hyödyllinen työkalu on RSS (Received Signal Strength) tai RSSI (Received signal strength indicator), joka kertoo antennin vastaanottaman signaalin vahvuuden ja tietämällä tietyn laitteen RSSI-arvon ja etäisyyden, voidaan sen etäisyyttä melko tarkasti arvioida RSSI:n avulla. Tärkeänä huomioitavana tekijänä on ympäristö, jossa seinät ja muut esteet vaikuttavat heikentävästi vastaanotettuun signaalin voimakkuuteen [15].

2.2 Tutkimuksia Bluetooth laitteiden havainnoinnista

Tässä alaluvussa perehdytään aiempaan tutkimukseen langattomien laitteiden havainnoinnista ja visualisoinnista. Tutkimukset haettiin Google Scholar -hakukoneella, käyttämällä hakutermejä ”allintitle: bluetooth surveillance -video -traffic -camera”, mikä palautti 19 tulosta 16.02.2021. Hakutuloksista valittiin tarkempaan tarkasteluun työt, jotka täyttivät seuraavat kriteerit:

1. Monitorointi koskee tilan käyttäjiä, eikä vain muutamaa ennalta valittua henkilöä.
2. Työssä esitellään tai käsitellään jokin ratkaisu käyttäjien monitorointiin
3. Esitelty järjestelmä käyttää pääasiassa Bluetooth signaaleja monitorointiin
4. Työ ei ole kandidaatintyö

Hakutulosten karsimisen jälkeen 19:sta työstä jäi jäljelle neljä työtä tarkempaa käsittelyä varten. Tässä alaluvussa esitellään näiden töiden käsittelemät ratkaisut.

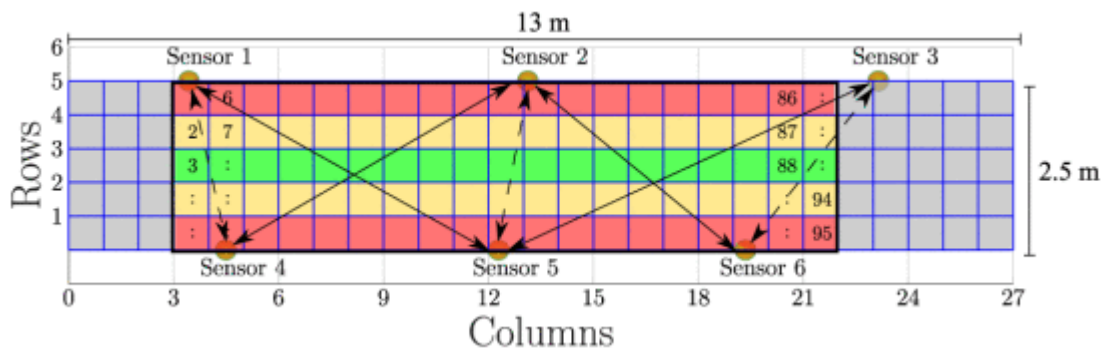
Jäppinen et al. [16] esittelivät vuonna 2004 julkaisemassaan artikkelissa Bluetooth pohjaisen monitorointijärjestelmän ja miten se rakentuu. Järjestelmä ei vaadi monitoroitaviin laitteisiin mitään erillistä ohjelmaa, vaan riittää että laitteessa on Bluetooth kytkettynä päälle. Tämä järjestelmä muistuttaa tässä työssä toteutettavaa järjestelmää, mutta ilman visualisointia ja käyttäen paljon vanhempaa Bluetooth teknologiaa. Jäppinen et al. esittelemällä järjestelmällä voitaisiin tallettaa käyttäjän laitteen sijainteja eri ajanhetkellä ja täten esimerkiksi paikantaa kadonnut puhelin katsomalla lokitiedostoista sen viimeisin sijainti. Järjestelmällä olisi myös mahdollista tarkistaa olisiko työtoveri yliopistolla vai ei ja että työntekijät ovat riittävän kauan työhuoneessaan.

Jäppinen et al. nostivat artikkelissaan esiin myös tärkeän huomion Bluetooth laitteiden yksityisyyttä koskien; Ihmisiä monitoroidessa täytyy ottaa myös huomioon käyttäjien yksityisyys, sillä heidän esittämässään toteutuksessa käyttäjät pystyttäisiin yksilöimään ja tunnistamaan heidän kantamansa laitteen perusteella. [16] Artikkelin toteutuksesta poiketen, tässä työssä ei kuitenkaan ole tarkoitus yhdistää Bluetooth dataa käyttäjiin, mutta yksityisyys on silti tärkeä ottaa huomioon tietoturvan kannalta.

Toisessa artikkelissa esitelty järjestelmä, joka käytti Bluetoothia havainnointiin, oli Anil Kumar et al. [17] esittämä Bluetooth LE perustuva valvontasysteemi. Paperissa esiteltiin älykäs järjestelmä, joka voisi monitoroida opiskelijoiden läsnäoloa, kun heillä on järjestelmän kanssa yhteensopiva mobiililaitte. Esitelty ratkaisu poikkeaa tämän työn toteutuksesta erityisesti siinä mielessä, että käyttäjien tarvitsee käyttää Android-laitetta, jossa on asennettuna järjestelmän käyttämä sovellus. Järjestelmä ei siis monitoroi kaikkia laitteita ja ihmisiä, vaan ainoastaan sen käyttäjiä, jotka ovat sovelluksen ladanneet ja joiden puhelimesta oleva sovellus ilmoittaa järjestelmälle läsnäolosta. Artikkelissa järjestelmää verrattiin perinteiseen tapaan jossa läsnäolo kirjattaisiin lukemalla käyttäjien kortti tai NFC -siru ja järjestelmän eduksi koettiin että se vähentää huijausten määrää läsnäoloilmoituksissa ja vähentää prosessiin käytettyä aikaa. Samankaltainen järjestelmä oli esitetty Shashidhar Honnallin ja Golla Vara Prasadin työssä [18], missä luotiin myös

opiskelijoiden läsnäoloa monitoroiva järjestelmä yksilöimällä käyttäjiä Bluetooth osoitteiden eli MAC-osoitteiden avulla.

Neljännessä löydettyssä artikkelissa esiteltiin passiivinen monitorointijärjestelmä Kuxdorf-Alkirata et al. [19] toimesta. Passiivisella tarkoitettiin järjestelmää, jossa monitoroitavilla käyttäjillä ei tarvitse olla mitään laitetta mukana, sillä järjestelmä kykenisi Bluetoothin avulla arvioimaan tilan aktiivisuutta. Järjestelmä muodostui kuudesta Bluetooth LE -sensorista, jotka olivat 1,8 metrin korkeudella ja muodostivat 13 metriä leveän ja 2,5 metriä pitkän suorakulmion, jonka sisältä käyttäjiä pystyttiin havainnoimaan. Havainnointi perustui sensoreiden toisiltaan vastaanottamien RSS lukemien arvoihin, eli signaalien lukemat pienenisivät, jos ihminen oli alueen sisällä estämässä Bluetooth LE signaalien kulkua. Allaolevasta kuvasta 2. näkyy sensoreiden asettelu ja alueen järjestely paremmin.



Kuva 2: Bluetooth LE -sensoreiden asettelu ja sijainnit [19].

Kuxdorf-Alkirata et al. totesivat työssä, että esittämällään järjestelmällä ihmisen paikannus onnistui 1,2 metrin mediaani virheellä. Artikkelin ei kuitenkaan tuonut esille muun muassa että onko järjestelmällä mahdollista arvioida tilassa olevien ihmisten määrää tai miten se käyttäytyisi vilkkaammissa tiloissa, joissa ihmismäärät voivat olla suuria.

3 JÄRJESTELMÄN TOTETUS

Järjestelmän suunnittelun perusajatuksena on se, että Bluetooth datan kerääminen ja sen visualisointi ovat erillisinä osinaan, jolloin dataa visualisoivan laitteen ei tarvitse olla tarkasteltavassa tilassa. Tavoitteena on että toteutettava järjestelmä voi tulevaisuudessa tukea useampaa Bluetooth sensoria, minkä vuoksi tällainen jako on tarpeen. Kaiken kaikkiaan järjestelmää suunniteltaessa se päädyttiin jakamaan kolmeen isompaan kokonaisuuteen:

- Bluetooth-sensori
- Backend
- Visualisointi

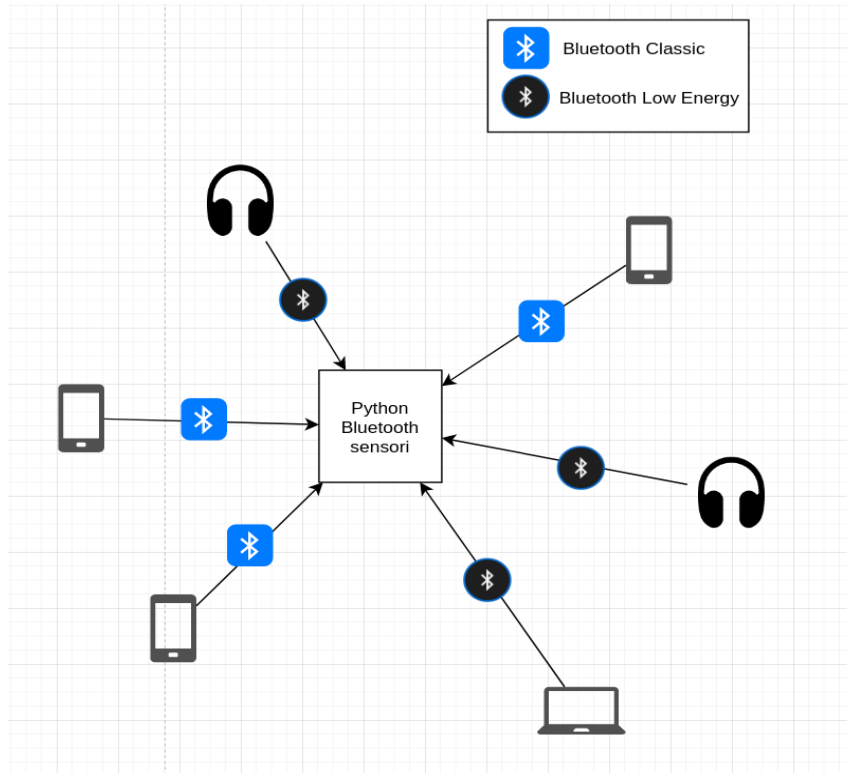
Tässä luvussa käsitellään edellä mainitut kokonaisuudet ja niissä käytettävät teknologiat. Käsitellään myös perustelut valinnoille ja pohdintaa niiden soveltuvuudesta tämän työn tarkoitukseen.

Samankaltaista visualisointiin keskittyvää tutkimusta ei aiheesta löytynyt, joten työ toteutetaan soveltavana tutkimuksena. Työn suunnittelussa ja toteutuksessa käytetään päätöksenteossa kehittäjän omia kokemuksia, jotka tukevat järjestelmän kehittämistä uuden tiedon saavuttamiseksi. Pääpainona tässä tutkimuksessa on keskittyä käytännön sovellutukseen ja käytännön ongelmien ratkaisemiseen.

3.1 Bluetooth-sensori

Bluetooth-sensorin tehtävänä on kerätä dataa lähellä olevista Bluetooth laitteista. Tämä onnistuisi esimerkiksi Pythonilla käyttäen Bluescan-kirjastoa, jolla saadaan kerättyä niin Bluetooth LE, kuin Bluetooth BR laitteiden signaaleja ja tietoja. Tämä kokonaisuus päätettiin tehdä Python 3:lla, sillä sen helppous ja monipuolisuus mahdollistaisivat nopean protyyppikehityksen sekä järjestelmän hiomisen. Python mahdollistaa myös kätevän keinon datan analysointiin ja käsittelyyn. Allaolevasta kuvasta 3. nähdään yksinkertainen hahmotelma Bluetooth-sensorista ja sen havainnoimista laitteista. Huomioitavaa on että laitteita voi olla sekä Bluetooth Classic, että Bluetooth Low Energy -teknologioita käyttävänä, ja järjestelmän tulee ottaa molemmat huomioon. Järjestelmässä pyritään

arvioimaan myös tilan todellista käyttäjämäärää. Arvioinnissa tulee ottaa huomioon, että ei voida olettaa että kaikki käyttäjät pystytään havaitsemaan Bluetooth-sensorilla.



Kuva 3: Bluetooth sensori ja sen havainnoimat Bluetooth-laitteet.

Varsinaista analysointia Bluetooth-sensorissa ei tarvitse tehdä, vaan tiedot voidaan lähettää backend-palvelimelle. Poikkeuksena kuitenkin tässä työssä päätettiin lisätä laitevalmistajan tunnuksen muuttaminen heksadesimaaliluvusta varsinaiseksi nimeksi. Tämä onnistuu lukemalla Bluetooth SIG:n tarjoaman laitevalmistaja CSV-tiedostoa lukemalla, jolloin tunnuksset ja nimet voidaan käsitellä avain-arvo -pareina.

Järjestelmän ytimessä toimii Bluescan-kirjasto, joka antaa laitteesta allaolevan kuvan 4. mukaisia tietoja. Tämän työn kannalta olennaisia tietoja ovat Bluetooth-signaalin osoite, signaalin vahvuus, eli RSSI, valmistajan tunnus (Company ID) sekä laitteen nimi, ja nämä tiedot lähetetään JSON muodossa palvelimelle analysoitavaksi. Bluescanin antamista tiedoista päätettiin jättää huomioimatta muun muassa osoitteen muoto (Addr type) sekä voiko laitteeseen yhdistää (Connectable).

```
Addr: ██████████
Addr type: random
Connectable: False
RSSI: -75 dB
General Access Profile:
Manufacturer:
  Company ID: 0x0006
  Data: ██████████
```

Kuva 4: Kuvakaappaus Bluescan-ohjelman antamista tiedoista.

Skannauksessa käytetään sekä BR että LE muotoja, joista LE havainnointi tehdään aktiivisessa tilassa, mikä tarkoittaa että sensori vastaa havaittujen laitteiden signaaleihin kysyen lisätietoja. Bluescan-kirjaston BR-skannaus kuuntelee sekä BR, EDR (Enhanced Data Rate) ja AMP (Alternate MAC/PHY) ja puolestaan LE-skannaus hakee nimensä mukaisesti ympäröivät Bluetooth LE laitteet, joista luetaan aikaisemmin mainitut kuvassa 4. näkyvät tiedot. Sensori pyrkii siis kuuntelemaan kaikkia laitteita, mitä kykenee havaitsemaan. Bluescan-kirjasto itsessään toimii BlueZ Bluetooth-pinon päällä, jolloin protokollien ja Bluetooth-kerrosten hallinta on hoidettu kirjaston avulla, eikä tämä työ käsittele niiden toimintaa tarkemmin.

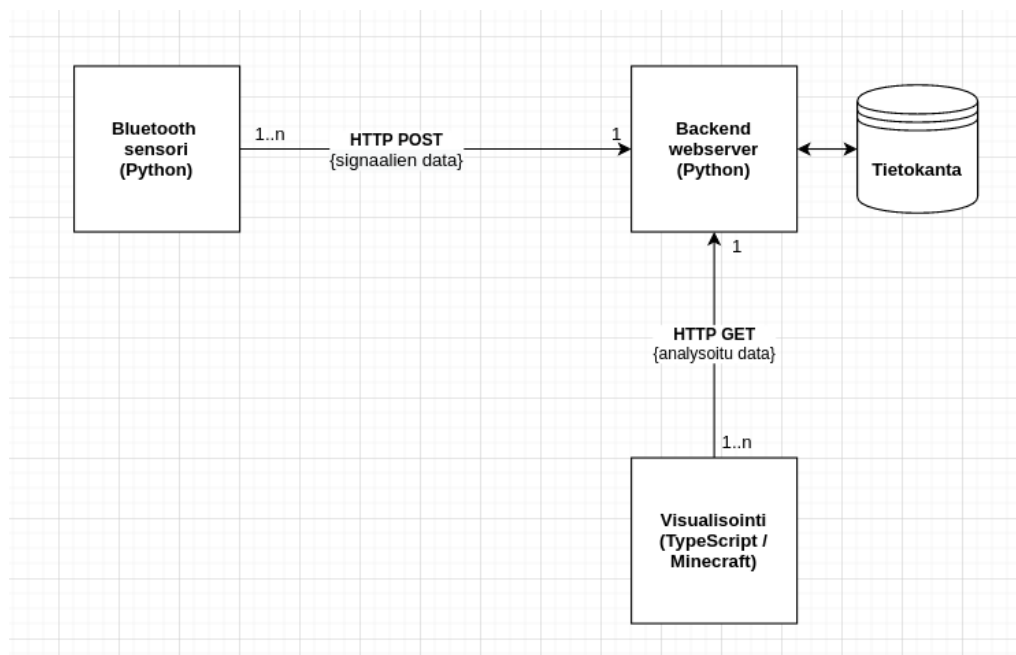
Järjestelmä aloittaa skannauksen LE-skannauksella, mikä kestää noin 10 sekuntia. Heti LE-skannauksen jälkeen aloitetaan BR-skannaus, joka kestää myös 10 sekuntia, eli yhden kokonaisen kierroksen kesto on noin 20 sekuntia. Kierroksen päätyttyä järjestelmä lähettää tiedot analysoitavaksi ja tallentaa lähetetyt signaalit tietokantaan, minkä jälkeen uusi aloitetaan uusi skannauskierros.

3.2 Backend

Järjestelmän keskeisimmänä osana toimii verkkopalvelin, joka vastaanottaa uutta dataa jatkuvasti yhdeltä tai useammalta Bluetooth-sensorilta. Backend suorittaa datan analysoinnin, kuten sen että millä tavalla yksittäinen datapiste sijoitetaan näytöllä, eli esimerkiksi päättelee laitteen etäisyyden RSSI:n perusteella. Backend-järjestelmään on liitetty tietokanta, johon laitteiden ja tilan tiedot voidaan tallentaa, mikä mahdollistaa tilan aktiivisuuden tarkastelun tietyllä ajanhetkellä.

Backend teknologioina harkittiin Node.js sekä Pythonia, joista lopulta päädyttiin Pythoniin sen data-analytiikka ominaisuuksien ja helppouden vuoksi. Pythonilla kyetään tekemään helposti myös tiedonsiirtoa HTTPS-protokollaa käyttäen. HTTPS-pyyntöjä tulnaisiin käyttämään niin tiedon vastaanottamiseen kuin sen tarjoamiseen rajapintojen kautta.

Datan säilytys ei ole tämän työn pääpaino, mutta backend-järjestelmässä toteutettiin yksinkertainen tallennusjärjestelmä pickledb-tietokantaan. Tietokantaan tallennetaan huoneen tila, joka sisältää listan havaittuja laitteita, joiden etäisyys on arvioitu. Nämä tiedot ovat samoja kuin visualisointiin lähetetyt tiedot, jolloin järjestelmässä voidaan palata aikaisempaan ajanhetkeen. Allaolevasta kuvasta 5. nähdään koko järjestelmän kokoonpano ja miten eri osat yhdistyvät backend-palvelimeen. Yksi tai useampi sensori lähettää signaalien datan backend-palvelimelle, joka puolestaan lähettää analysoidun datan visualisointiin. Backendin yhteyteen on kytketty yksinkertainen tietokanta.



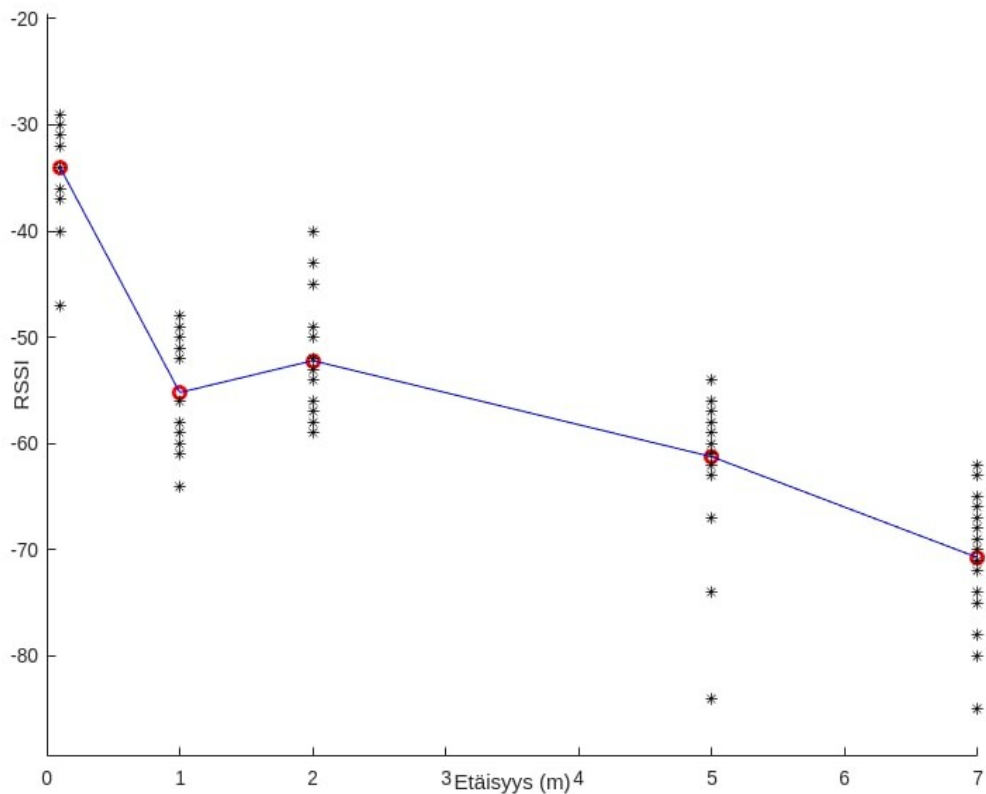
Kuva 5: Järjestelmän eri osat kommunikoivat HTTP-pyyntöjen avulla lähettämällä JSON-dataa. Kuvassa havainnollistetaan eri järjestelmät ja niiden osat.

3.3 Analysointi backend-järjestelmässä

Backend-järjestelmän tärkeä tehtävä tiedon välityksen ja tallennuksen lisäksi on analysointi. Ensimmäiseksi järjestelmä lukee Python sanakirjaksi muutetun JSON-olion, joka sisältää listan Bluetooth laitteista. Tästä listasta muodostetaan uusi lista, joka pitää sisällään laitteiden asettelun virtuaalinäkymässä sekä muut tarpeelliset tiedot kuten koko tilan yleiskatsauksen. Yleiskatsaukseen kuuluisi tilan laitteiden lukumäärä, niistä arvioitu ihmismäärä ja muita kehityksen aikana esiin nousevia arvoja.

Analysoinnin yksi tärkeistä tehtävistä on laitteen sijainnin arvioiminen. Tässä työssä käytetään vain yhtä paikallaan pysyvää Bluetooth sensoria, joten ainut keino arvioida sijaintia on laitteen RSSI-luvusta laskettava etäisyys. Jotta pystyttiin saamaan mahdollisimman hyvä arvio laitteen etäisyydestä RSSI:n avulla, tässä työssä suoritettiin yksinkertainen mittaus käyttäen Dell XPS kannettavaa Bluetooth sensorina ja Oneplus 7T -

älypuhelinta tarkasteltavana kohteena. Mittauksen tulokset näkyvät allaolevasta kuvassa 6., jossa mustat tähdet esittävät datapisteitä ja punaiset ympyrät keskiarvoa, jotka on yhdistetty sinisillä viivoilla. Mittauksessa otettiin 20 kertaa RSSI-luku jokaiselle etäisyydelle, eli yhteensä 100 datapistettä. Kuvasta nähdään signaalin epätarkkuus, mutta myös että RSSI-arvo pienenee eniten jo ensimmäisen metrin matkalla.



Kuva 6: Oneplus 7T Bluetooth Classic signaalin voimakkuuden mittaus

Allaolevassa taulukossa 1 on kirjattu ylös eri etäisyyksiltä mitatut RSSI-lukujen keskiarvot ja keskihajonnat. Keskiarvoista ja keskihajonnoista voidaan nähdä, että etäisyyden ja RSSI välillä on yhteys, mutta hajonta on melko suurta, mikä tarkoittaa ettei etäisyyttä voida kovin tarkasti arvioida. Tässä työssä oletetaan myös että puhelimien lähettämä signaalinvoimakkuus on lähellä toisiaan, eikä suuria vaihteluja ole eri laitevalmistajien välillä. Muissa langattomissa laitteissa lähetysvoimakkuus on luultavasti paljon vaihtelevampi, kuten esimerkiksi älykelloa, bluetooth kuulokkeita ja kannettavaa tietokonetta verrattaessa saattaa signaalin lähetysvoimakkuus olla hyvinkin erilainen.

Tarkempaa etäisyyden arviointia voisi tehdä lisäämällä sensoreiden määrää ja käyttää tällöin avuksi geometriaa etäisyyden ja sijainnin arvioimiseen. Tämä jää kuitenkin työn ulkopuolelle ja toteutuksessa käytetään vain yhtä sensoria, sillä työssä oletetaan että jos Bluetooth laite havaitaan, on se riittävän lähellä luokiteltavaksi tilassa oleviin laitteisiin.

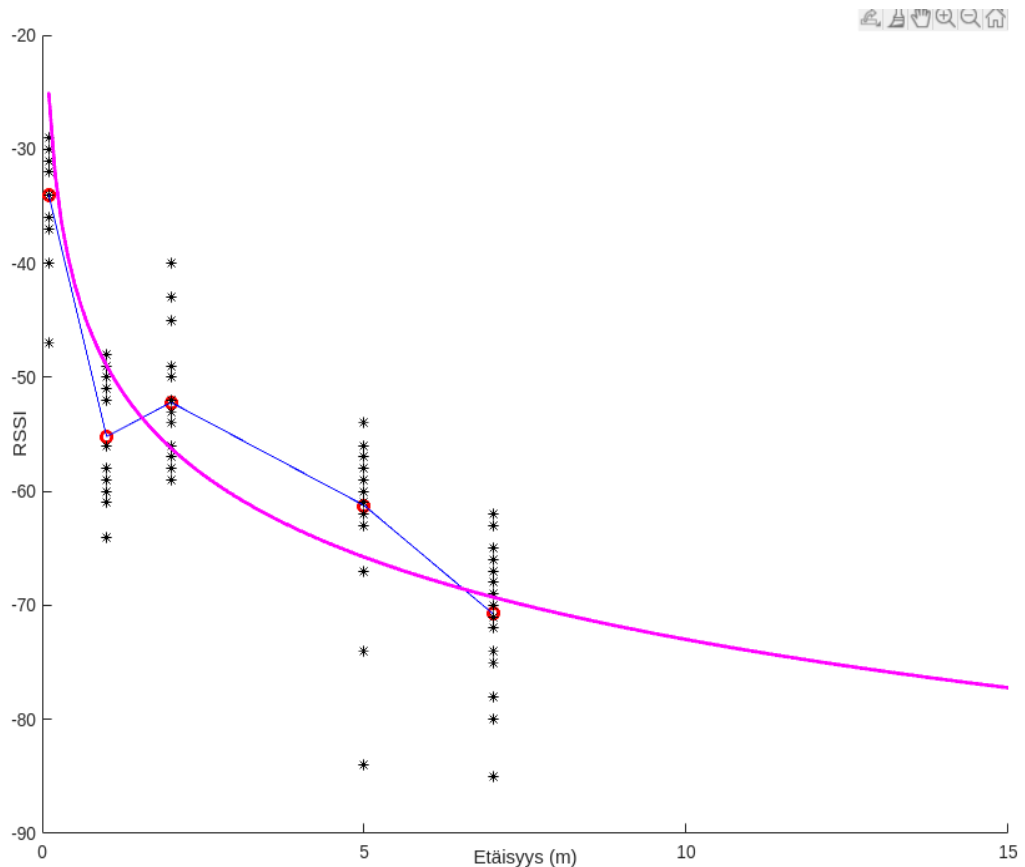
Etäisyys	Keskiarvo	Keskihajonta
0.1m	-34	~4,12
1m	-55,2	~4,97
2m	-52,2	~5,66
5m	-61,25	~6,99
7m	-70,75	~6,23

Taulukko 1: RSSI mittauksen tulokset

Varsinainen etäisyyden arviointi tehdään allaolevalla kaavalla 7., jossa ”Measured Power” on laitteen RSSI yhden metrin etäisyydellä. RSSI on mitattu RSSI-arvo ja N on vakio, joka kuvaa ympäristön vaikutusta asteikolla 2-4 [20]. Aiemmin mitattujen arvojen perusteella tässä työssä päätettiin käyttää ”Measured Power” arvona -49 dB, sillä nykyinen keskiarvo 1 metrin etäisyydelle vaikuttaa poikkeamalta ja -49 dB kuvastaisi käyrää paremmin. Vakion N arvoiksi päädyttiin eri kuvaajia piirtäen ja tilan kantavuutta silmämääräisesti arvioiden valitsemaan 2,4, sillä arvo 2 kuvastaisi tilaa joka ei estä RSSI signaalia juurikaan ja 4 kuvastaisi erittäin vahvasti kantavuutta vähentävää. Arvojen sijoittamisen jälkeen nähdään approksimaatio, joka on piirretty alla olevassa kuvassa 8. violetilla.

$$Distance = 10^{((Measured\ Power - RSSI) / (10 * N))}$$

Kuva 7: Yhtälö Bluetooth laitteen etäisyyden arvioimiseen [20]



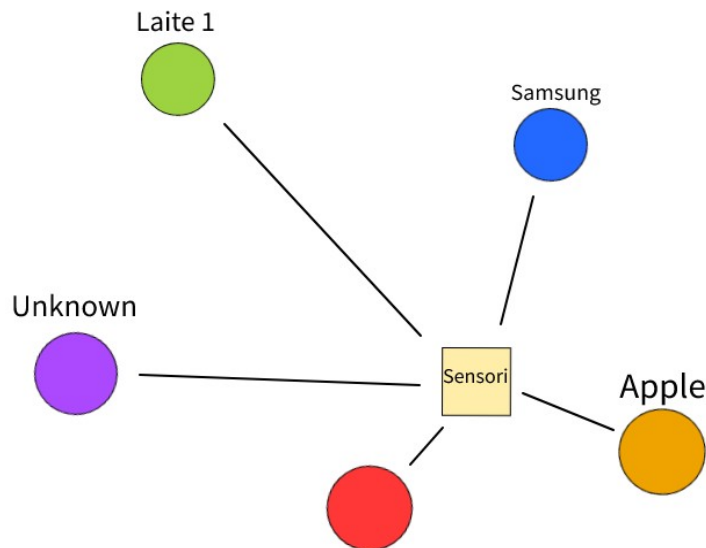
Kuva 8: RSSI-luvun avulla muodostettu approksimaatio kun käytetään Bluetooth Classic yhteyttä avonaisessa tilassa

Koska BLE-laitteiden lähetysoimakkuudesta ei saada samanlaista arviota kuin Bluetooth Classic -yhteyttä käyttävistä puhelimista, päädyttiin niille antamaan hieman suuremmat parametrit. Nämä parametrit valittiin kokeilemalla ja BLE-laitteiden visualisoinnissa tuleekin huomioida se että niiden sijainnit ovat vain suuntaa-antavia.

3.4 Visualisointi Minecraft-alustalla

Visualisointia suunniteltaessa lähdettiin hahmottelemaan virtuaalista tilaa, joka kuvastaisi havainnoituja laitteita. Muita mietittyjä vaihtoehtoja oli esimerkiksi aktiivisuutta hahmottavien kuvaajien luominen kerätystä datasta, mutta tämä idea hylättiin, koska virtuaalitila koettiin olevan mielenkiintoisempi loppukäyttäjälle. Virtuaalitilassa laitteet voidaan näyttää erillisinä yksilöinä ja niiden avulla voidaan esimerkiksi laitteen etäisyyttä visualisoida, mikä koettiin tärkeäksi osaksi visualisoida tilan ruuhkaisuuden ymmärtämiseksi. Yksittäisen laitteen visualisointiin tarvittaisiin tällöin sen etäisyys ja

nimi, jotta laite voidaan tunnistaa näkyvässä. Jotta laitteet pystytään erottamaan toisistaan, tarvitaan myös laitteen osoite, jonka avulla voidaan valita laitteelle yksilöllinen ulkonäkö visualisoinnissa. Kuvassa 9. näkyy hahmotelma virtuaalitalasta, jossa laitteet on yksilöity eri väreillä, mikä helpottaa yksittäisen laitteen seuraamista eri ajanhetkillä.



Kuva 9: Hahmotelma visualisoinnista, jossa laitteet ovat erivärisiä palloja ja jotka ovat arvioidun etäisyyden päässä sensorista (neliö).

Visualisoinnin tarkoitus on esittää järjestelmän käyttäjälle tietoa tilan aktiivisuudesta visuaalisesti. Yksi vaihtoehto on toteutukselle luoda perinteinen frontend-sivu, joka näyttäisi laitteet verkkoselaimessa. Vaikka tavallinen HTML (engl. Hypertext Markup Language), CSS (engl. Cascading Style Sheets) ja JavaScriptillä toteutettu sivu esittäisikin laitteet, niin tässä työssä koettiin ettei sen tuoma immersivisyys ollut riittävää, minkä vuoksi työssä päädyttiin suunnittelemaan visualisointi toteutettavaksi Minecraft-pelin sisällä. Käyttämällä Minecraft-peliä pohjana visualisoinnille pystytään tilan aktiivisuutta seuraavan henkilön kokemusta parantamaan, sillä laitteiden etäisyydet ja mittasuhteet pystytään luultavasti ymmärtämään paremmin kun havainnoija on itse virtuaalisen huoneen sisällä.

Minecraft on kuutioista koostuva avoimen maailman hiekkalaatikkopeli, mutta erityisen siitä tekee sen muokattavuus. Tarkoituksena on että järjestelmän käyttäjä voi liittyä Minecraft-palvelimelle tarkastelemaan visualisointia ja eläytyä visualisoitavaan tilaan. Koska toteutettava näkymä on Minecraft-maailman sisällä, voi samaan maailmaan liittyä useampi tarkastelija, mikä mahdollistaa myös sen että tilaa voi esitellä interaktiivisesti muille, mikä ei ole mahdollista perinteisellä staattisella verkkosivulla. Visualisoinnissa käytetään apuna Minecraft moninpelipalvelimien ohjelmointirajapintaa PaperSpigot:ia, ja sille kehitettyä CraftJS [21] lisäosaa (engl. Plugin), joka mahdollistaa pelin muokkaamisen TypeScriptillä. Tavoitteena on siis luoda Minecraft maailmaan huonetta kuvastava virtuaaliympäristö tai tila, jossa oikeasta maailmasta havaitut Bluetooth-laitteet voitaisiin havainnollistaa. Suhteessa työmäärään Minecraft-maailmassa asioiden visualisointi näyttävästi ja immersiiivisesti on paljon nopeampaa ja helpompaa, kuin esimerkiksi selaimessa näkyvän 3-ulotteisen tilan luominen ja sen tekeminen vakuuttavaksi.

Perinteisessä Minecraft-kehityksessä käytetään Javaa, mutta varsinainen Java-ohjelmointi on tässä työssä hidasta, varsinkin kun kehitysvaiheessa halutaan luoda nopeita prototyyppisiä visualisoinnin testaamiseen. Ratkaisu näihin ongelmiin on CraftJS, jonka avulla voidaan skriptata ohjelmia Minecraftiin käyttämällä TypeScriptiä. Tällöin on myös mahdollista tehdä muokkauksia ajonaikaisesti ja nähdä suoraan muokkausten vaikutukset, mikä on melko työlästä Javalla. Kun lisäosia tehdään Javalla, ovat kehittäjän työvaiheet monesti seuraavanlaiset:

1. Kirjoita ohjelmakoodi esimerkiksi Eclipsellä
2. Käännä lisäosa JAR-paketiksi (Java Archive)
3. Uudelleenlataa palvelin

Puolestaan CraftJS:n avulla skriptatessa ohjelmakoodin kirjoittamisen jälkeen riittää vain yhden komennon ajaminen, jolloin muutokset ovat lähes välittömästi palvelimella. Erityisenä tekijänä TypeScriptin valitsemiseen on sen tuki vahvasti tyyppitetylle ohjelmalle, jolloin kehitystyöstä tuli sulavampaa ja järjestelmästä luja. Varsinkin Visual Studio Code -editorin mahdollistama automaattinen täydennys teki ohjelmoinnista ja prototyypin luomisesta nopeaa. Lopulta taustalla pyörivä TypeScript kääntäjä kääntää skriptit JavaScriptiksi aina tallennettaessa, jolloin varsinaisen työn jäljen näkee lähes välittömästi.

TypeScript mahdollistaa ymmärrettävän ohjelmakoodin kirjoittamisen, mistä näkyy esimerkki kuvassa 10., joka on kuvakaappaus tämän työn järjestelmästä. Esimerkissä jalusta (englanniksi stand) luodaan samaan maailmaan kuin sensori käyttämällä spawnEntity()-metodia. Tämän jälkeen jalustan päällä leijuva teksti laitetaan näkyviin setCustomNameVisible()-metodilla ja lopulta jalusta laitetaan pieneksi setSmall()-metodilla, jos se on Bluetooth LE -laite.

```
/**
 * Spawns a new armorstand to represent the device
 * @param device Device data to be used when spawning the armorstand
 */
function spawnArmorStand(device: Device) {
    const location = getDeviceCoordinates(device);

    // Spawn new armorstand to the world
    const stand = Sensor.world.spawnEntity(
        location,
        EntityType.ARMOR_STAND,
    ) as ArmorStand;

    // Set the name on top of the armorstand visible.
    // The name of the device can be displayed here
    stand.setCustomNameVisible(true);

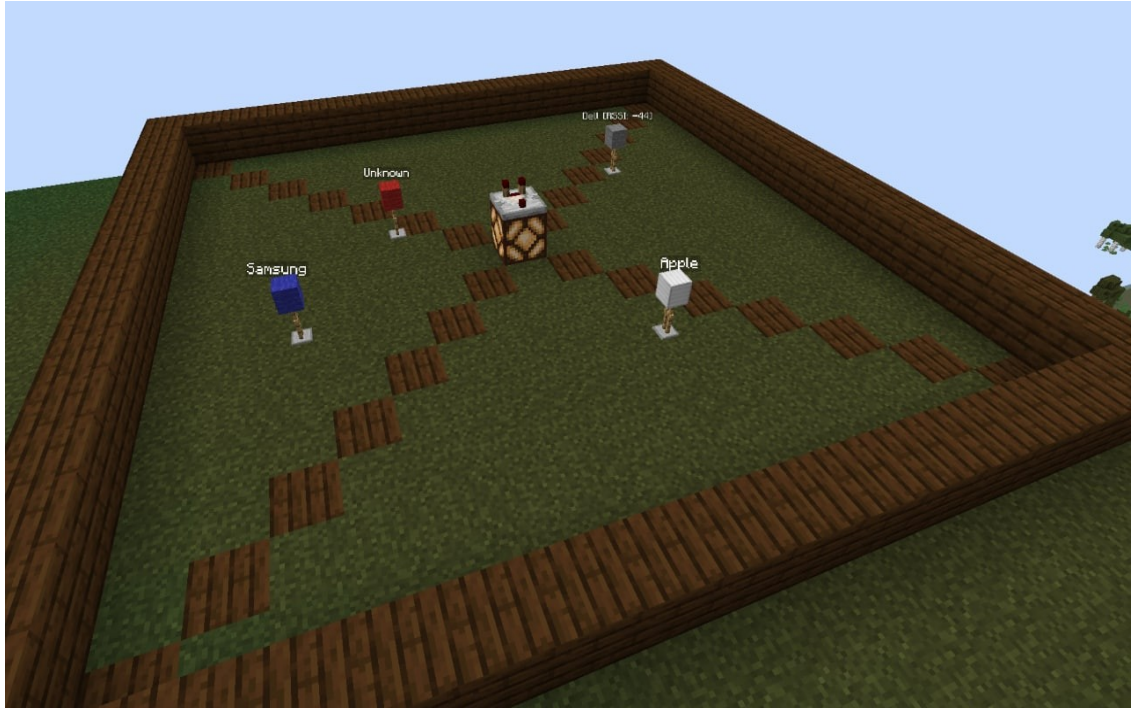
    // Low Energy devices can be shown smaller than Bluetooth Classic devices
    stand.setSmall(device.mode === 'le');
```

Kuva 10: Kuvankaappaus TypeScript-funktiosta, joka luo uuden jalustan Minecraft-peliin Bluetooth datan perusteella.

3.5 Virtuaalitila

Virtuaalitilaa lähdettiin hahmottelemaan rakentamalla Minecraft-peliin huone ja asettelemalla sinne erilaisia jalustoja. Kuvassa 11. on esitettyä hahmotelma siitä miltä visualisointi suunniteltiin näyttämään Minecraft-pelissä. Kuvassa keskellä oleva kellertävä kuutio kuvastaa Bluetooth-sensoria ja sen ympärillä olevat värikkäät hahmot, eli jalustat, edustavat laitteita, jotka liikkuvat tilassa. Uuden datan saapuessa liikutetaan aikaisempia jalustoja niin että niiden liikkuminen on sulavaa eikä välitöntä, jolloin tarkkailijan on helpompi seurata tilan aktiivisuuden muuttumista. Järjestelmä muistaa myös edellisen

tilan, jolloin voidaan näyttää vilkkumisanimaatio niille laitteille, joiden signaali on kadonnut viimeisimmän skannauksen aikana.



Kuva 11: Ensimmäinen hahmotelma siitä miltä visualisointi voisi näyttää Minecraft-pelissä

Jalustojen päällä näytetään niiden nimi tai valmistajan nimi, mutta jos kumpaakaan ei ole saatavilla, näytetään teksti ”Unknown”. Jalustan väri auttaa puolestaan erottamaan samankaltaiset laitteet toisistaan, sillä eri väri voidaan generoida yksilölliseksi antamalla laitteen Bluetooth osoite satunnaislukugeneraattorin siemenarvoksi. Generaattorin antamaa lukua muutetaan lopulta RGB-väriarvoksi (lyhenne sanoista red, green ja blue), joka lisätään jalustan päällä olevan esineen dataan. Lisäksi visualisoinnissa päätettiin muuttaa Bluetooth Classic yhteydellä olevat laitteet näkymään normaalin kokoisina, kun puolestaan Bluetooth Low Energy yhteyttä käyttävät laitteet pieninä. Tämä auttaa erottamaan varsinkin matkapuhelimet joukosta, sillä ne käyttävät yleensä Bluetooth Classic -yhteyttä.

Yhden sensorin avulla laitteista voidaan arvioida etäisyys, mutta ei sijaintia, joten laitteet sijoitetaan sensorista katsottuna sattumanvaraiseen suuntaan arvioidun etäisyyden päähän. Tämä onnistuu arpomalla kaksi satunnaislukua laitteen osoitteen avulla, ja luomalla

näiden avulla yksikkövektorin, joka osoittaa satunnaiseen suuntaan xz-tasolla. Tällöin laite pysyy samassa suunnassa signaalien päivittyessä ja lopullinen sijainti lasketaan kertomalla aiemmin saatu yksikkövektori arvioidulla etäisyydellä.

Allaolevassa kuvassa 12. näkyy virtuaalitali, jossa vasemmalla oleva kirkkaanvihreä jalusta edustaa Oneplus 7T puhelinta ja muut jalustat ovat Bluetooth Low Energy -laitteita. Kirkkaanvihreän jalustan etäisyys virtuaalitalissa on noin 1,5 metriä, mikä on sama etäisyys kuin tarkastellussa tilassa, eli tämä laite näkyi oikein. Myös taustalla näkyvä ”Samsung Elec.” näkyy sekä lähes oikealla etäisyydellä, eli 2 metrin päässä sensorista. Laitteiden suunta keskellä olevasta keltaisesta sensorista näkyvät kuvassa sattumanvaraisina. Jos tilannetta katsotaan reaaliajassa tai videolta, näkyy kuinka laitteet, joiden yhteys on katkennut, vilkkuvat ennen katoamistaan.



Kuva 12: Toteutetun järjestelmän luoma näkymä

4 TULOKSET

Työssä saatiin luotua järjestelmä, joka visualisoi sensorin havaittavissa olevat Bluetooth laitteet. Huomattiin että järjestelmä ei aina huomannut matkapuhelinta, vaikka Bluetooth olisi kytkettynä päälle, mutta BLE-laitteita löytyi erittäin paljon suhteessa Bluetooth Classic -laitteisiin. Uudet Android laitteet vaikuttivat vaihtavan automaattisesti löydettävissä tilan päälle ja pois riippuen oliko käyttäjä Bluetooth asetuksissa vai ei. Koska emme voi tässä työssä muokata käyttäjien laitteita, rajoittaa tämä älypuhelimien ominaisuus Bluetooth-laitteiden havainnointia.

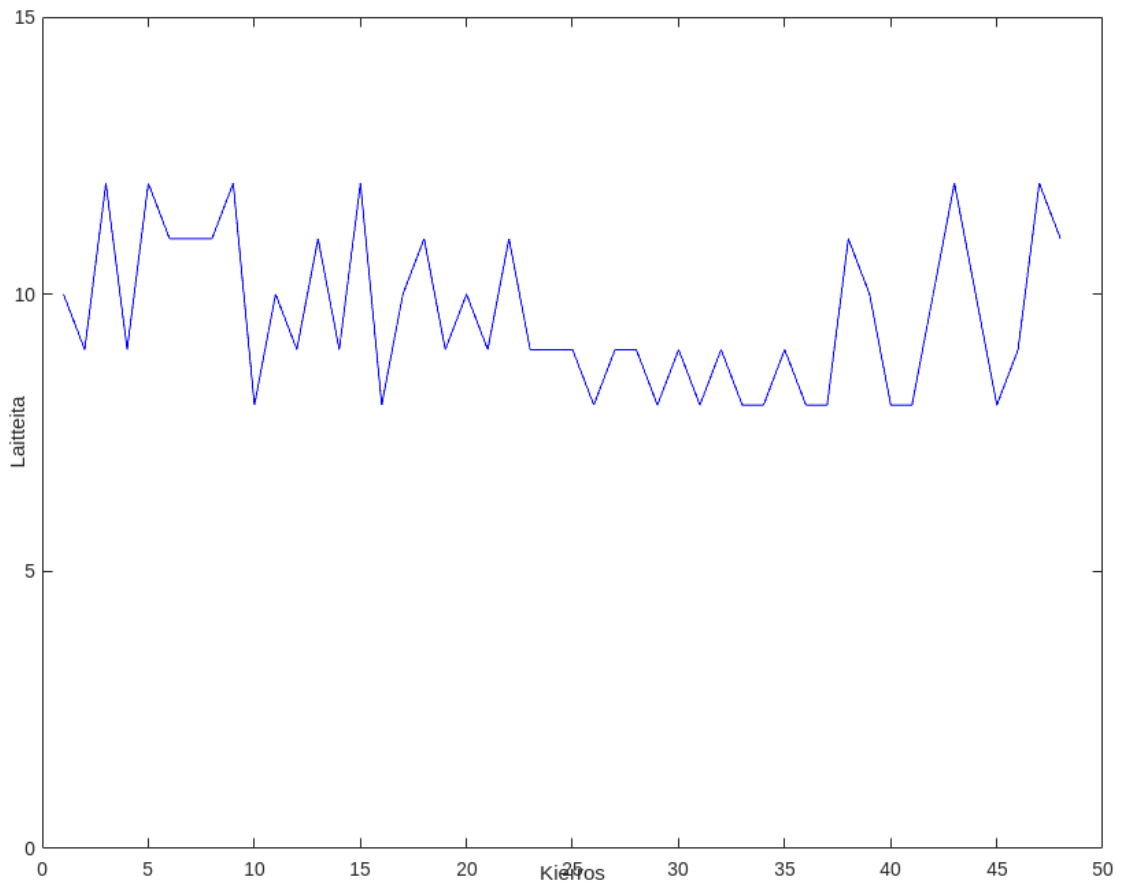
Laite	Bluetooth-yhteys	Milloin havaittiin
Oneplus 7T (Älypuhelin)	BR	Kun Bluetooth-asetukset auki
Jabra Elite 75t (Bluetooth kuulokkeet)	LE	Kun käytössä
Samsung A7 (Älypuhelin)	BR	Kun Bluetooth asetukset auki
LE WH-H900N (Bluetooth kuulokkeet)	LE	Kun käytössä
Asus ZenBook (Windows kannettava)	LE	Kun käytössä

Taulukko 2: Tuloksia eri Bluetooth-laitteiden havaitsemisesta

Bluetooth-sensori ajettiin Dell XPS 13 -kannettavalla ja yksittäisten laitteiden tuloksia nähdään ylläolevasta taulukosta 2. Yleisesti ottaen järjestelmä onnistui hahmottamaan havaitsemiaan Bluetooth laitteita hyvin ja se hahmotti mobiililaitteet lähes oikeille etäisyyksille Bluetooth sensorista.

Järjestelmää pidettiin päällä 30 minuuttia asuntoalueella ja kerralla näkyvissä oli keskimäärin 10,3 laitetta, joista noin 5 laitetta oli näkyvissä koko testin ajan. Kaikista havaituista laitteista vain yksi oli Bluetooth BR laite ja muut olivat Bluetooth LE laitteita. Enimmillään laitteita oli 14 ja vähimmillään 8 ja laitteiden lukumäärä ei muuttunut kuin 0-2 laitetta jokaisella skannauskierroksella. Havaituista laitteista luultavasti suurin osa on staattisia laitteita, kuten älytelevisioita ja muita älylaitteita, jotka havaitaan lähes aina. Jos

havainnointi olisi tapahtunut esimerkiksi yliopiston aulaassa, olisivat laitteet luultavasti edustaneet paremmin ihmismäärää, sillä aulaassa ei välttämättä ole kovin paljo staattisia laitteita. Eri skannauskierroksilla mitattujen laitteiden lukumäärä näkyy kuvassa 13, josta nähdään että laitemäärä on pysynyt melko samana koko skannauksen ajan.



Kuva 13: Kuvaaja havaittujen laitteiden määrästä 48 ensimmäisen skannauskierroksen ajalta.

5 POHDINTA JA MAHDOLLISUUDET

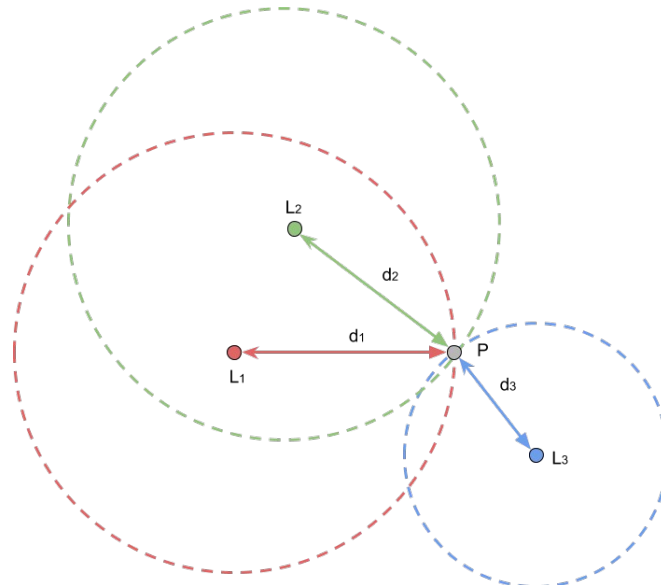
Järjestelmän suurimpana ongelmana oli se ettei kaikkia käyttäjiä voitu havaita Bluetoothilla ja varsinkin älypuhelimet katosivat skannauksesta kun ne poistui Bluetooth-asetuksista. Yksi vartenotettava vaihtoehto on WLAN, sillä sen käyttöprosentti voisi olla suurempi kuin Bluetoothin varsinkin jos järjestelmää käytettäisiin maassa, jossa mobiilidatan käyttöä vältetään ja langattomia lähiverkkoja suositaan. Järjestelmän hyödyllisyys kasvaisi, jos käyttäjien Bluetooth laitteita pystyttäisiin havaitsemaan tehokkaammin, eli esimerkiksi jos yleistyvät älylaitteet toisivat mukanaan yhä enemmän havaittavissa olevia BLE-signaaleja. Esimerkiksi langattomat Bluetooth nappikuulokkeet järjestelmä havaitsee todella hyvin, kun puolestaan matkapuhelimet ovat usein huomaamattomia, eli jos näiden langattomien lisävarusteiden käyttö kasvaa, niin tässä työssä esitelty järjestelmä voisi olla käytännöllisempi.

Varsin tehokas tapa avonaisen tilan ihmismäärän seuraamiseen on käyttää kameroita ja tunnistaa ihmishahmot videokuvasta. Toisaalta tällainen järjestelmä luultavasti vaatisi enemmän resursseja palvelimelta, kuin tässä työssä esitelty Bluetooth sensori. Jos järjestelmälle saatavilla olevat resurssit ovat hyvin rajalliset, on tässä työssä esitelty ratkaisu yksi vartenotettava vaihtoehto.

Alkuperäisenä tavoitteena tässä työssä oli arvioida tilassa olevaa ihmismäärää, kuten 2. tutkimuskysymyksessä kerrottiin. Työn edetessä tämä tutkimuskysymys päätettiin jättää pois, koska koronarajoitusten takia ei ollut mahdollista tehdä kattavaa tutkimusta keräämällä tietoa esimerkiksi yliopiston aulasta. Lähtöoletuksena voidaan pitää että keskimäärin noin 50% ihmisistä on havaittavissa Bluetooth-signaaleilla, mutta tarkempi arvio pystytään laskemaan vasta rajoitusten vähennyttyä. Samalla on mahdollista lisäkehityksenä etsiä ja kerätä lisää dataa erilaisten Bluetooth-laitteiden lähetysvoimakkuudesta ja pyrkiä tekemään parempia arvauksia etäisyyksistä.

Toisena lisäkehityksenä Bluetooth laitteiden sijainnin arvioimiseen on useamman sensorin käyttäminen ja laitteiden sijainnin arvioiminen trilateraatiolla. Sijainti voitaisiin määrittää mittaamalla kohtaan etäisyys, joka tässä tapauksessa on RSSI-arvo, kolmella eri sensorilla,

jotka on merkitty alla olevassa kuvassa 14. pisteillä L1, L2 ja L3 ja täten määritettäisiin laitteen sijainti P [22]. Trilatetaariossa käytetään yleensä etäisyyksiä, mutta se luultavasti toimisi myös RSSI-arvoilla, kunhan ympäristöstä johtuvat häiriöt signaaleissa eivät olisi liian epätasaisesti jakaantuneita. Allaolevasta kuvasta 14. näkyy kuinka laitteen sijainti P pystytään arvioimaan laskemalla ympyröiden leikkauspiste.



Kuva 14: Trilatetaario kolmella mittauspisteellä

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli luoda järjestelmä, joka kykenee havainnoimaan tilassa olevia Bluetooth-laitteita ja arvioimaan sekä visualisoimaan saaduista tuloksista ihmismäärää. Skannaukseen käytettiin Bluescan-kirjastoa ja sillä pyrittiin havainnoimaan löydettävissä olevat Bluetooth Classic ja Bluetooth Low Energy -laitteet, jotka seuraavaksi analysoitiin Backend-palvelimella. Lopuksi havaitut laitteet lähetettiin käsittelyssä muodossa visualisointiin Minecraft-palvelimelle, jossa laitteita luotiin 3-ulotteiseen virtuaalitilaan, niin että ne vastasivat vastaanotettuja Bluetooth-signaaleja.

Aiheesta ei löytynyt samankaltaista tutkimusta tai toteutusta kirjallisuudesta, vaan lähimmät toteutukset vaativat joko puhelinsovelluksen käyttäjän puhelimeen tai toteutukset seurasivat vain yksittäisiä ja ennalta valittuja Bluetooth-laitteita. Erityisesti visualisoinnista löytyi heikosti aiheeseen liittyviä tuloksia.

Työssä luotiin järjestelmä, joka visualisoi Bluetooth-laitteita ja niiden etäisyyttä RSSI-arvon perusteella. Huomattiin että BLE laitteita löytyi huomattavasti kattavammin ja Bluetooth Classic -laitteiden havainnointi oli haastavaa ja vähäistä, sillä esimerkiksi älypuhelimet poistuivat löydettävissä tilasta kun käyttäjä ei ollut puhelimen Bluetooth-asetuksissa. Näistä johtuen ihmismäärän arvioinnista tuli hyvin epätarkkaa lukumäärän kannalta, mutta havaitut laitteet kertoivat silti suuntaa-antavia tietoja tilan aktiivisuudesta. Yksittäisten laitteiden etäisyyttä pystyttiin arvioimaan ja hahmottamaan, mutta tulosten tarkkuus vaihteli riippuen, että oliko lähettävä laite älypuhelin tai sen lähetystehoa vastaava Bluetooth-laite, milloin tuloksista tuli tarkempia kuin muilla laitteilla.

Kaikenkaikkiaan visualisoinnista saatiin luotua immersiiivinen ja Minecraft-peliä käyttämällä mittasuhteiden hahmotus oli helpompaa. Visualisointi onnistui suunnitelmien mukaan ja virtuaalitila teki tuloksista helpommin ymmärrettäviä kuin mihin oltaisiin pystytty samalla työmäärällä toteutetulla selainäkymällä.

LÄHTEET

- [1] “Beacon Marketing: 7 Ways Businesses can Encourage Users to turn their Bluetooth ON.” <https://blog.beaconstac.com/2016/05/7-ways-businesses-can-encourage-users-to-turn-their-bluetooth-on/> (accessed Feb. 07, 2021).
- [2] “Koronavilkku-sovellus,” *Koronavilkku*. <https://koronavilkku.fi> (accessed Feb. 07, 2021).
- [3] Solita, “Koronavilkku on ladattu yli 2,5 miljoonaa kertaa – laaja käyttö lisää sovelluksen vaikuttavuutta,” Nov. 04, 2020.
- [4] “ISO/IEC 18092:2013(en), Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Near Field Communication — Interface and Protocol (NFCIP-1).” <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:18092:ed-2:v1:en> (accessed Apr. 13, 2021).
- [5] “ISO/IEC 21481:2012(en), Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Near Field Communication Interface and Protocol -2 (NFCIP-2).” <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:21481:ed-2:v1:en> (accessed Apr. 13, 2021).
- [6] C. F. May 09 and 2017, “What is NFC? Everything you need to know,” *TechRadar*. <https://www.techradar.com/news/what-is-nfc> (accessed Feb. 08, 2021).
- [7] “IEEE 802.11-2016 - IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks-- Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.” https://standards.ieee.org/standard/802_11-2016.html (accessed Feb. 08, 2021).
- [8] “What is a Wireless Local Area Network (WLAN)? - Definition from Techopedia,” *Techopedia.com*. <http://www.techopedia.com/definition/5107/wireless-local-area-network-wlan> (accessed Feb. 08, 2021).
- [9] S. John, “‘What is Bluetooth?’: A beginner’s guide to the wireless technology,” *Business Insider*. <https://www.businessinsider.com/what-is-bluetooth> (accessed Feb. 08, 2021).
- [10] “Understanding Bluetooth Range | Bluetooth® Technology Website.” <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/key-attributes/range/> (accessed Feb. 08, 2021).
- [11] “Bluetooth Radio Versions,” *Bluetooth® Technology Website*. <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/radio-versions/> (accessed Feb. 11, 2021).
- [12] S. Zeadally, F. Siddiqui, and Z. Baig, “25 Years of Bluetooth Technology,” *Future Internet*, vol. 11, no. 9, Art. no. 9, Sep. 2019, doi: 10.3390/fi11090194.
- [13] akash kandhare, “Bluetooth Vs. Bluetooth Low Energy: What’s The Difference?,” *Medium*, Jun. 18, 2019. <https://medium.com/@akash.kandhare/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy-whats-the-difference-74687afcedb1> (accessed Feb. 17, 2021).
- [14] “2020_Market_Update-EN.pdf.” Accessed: Feb. 10, 2021. [Online]. Available: https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2020/03/2020_Market_Update-EN.pdf.
- [15] “Proximity and RSSI,” *Bluetooth® Technology Website*, Sep. 21, 2015. <https://www.bluetooth.com/blog/proximity-and-rssi/> (accessed Feb. 17, 2021).

- [16] P. Jäppinen, I. Laakkonen, V. Latva, A. Hämäläinen, and J. Porras, “Bluetooth Device Surveillance and Its Implications,” May 2004.
- [17] B. G. A. Kumar, K. C. Bhagyalakshmi, K. Lavanya, and K. H. Gowranga, “A Bluetooth low energy based beacon system for smart short range surveillance,” in *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information Communication Technology (RTEICT)*, May 2016, pp. 1181–1184, doi: 10.1109/RTEICT.2016.7808018.
- [18] S. Honnalli and G. V. Prasad, “Attendance Monitoring Model for Range Surveillance Using Bluetooth,” *International Journal of Sensors and Sensor Networks*, vol. 7, no. 4, Art. no. 4, Feb. 2020, doi: 10.11648/j.ijssn.20190704.12.
- [19] N. Kuxdorf-Alkirata, G. Maus, M. Gemci, and D. Brückmann, “A passive fingerprinting approach for device-free surveillance and localization applications using a Bluetooth Low Energy infrastructure,” in *2020 IEEE 24th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, Jul. 2020, pp. 31–36, doi: 10.1109/INES49302.2020.9147184.
- [20] R. Shah, “Formula to convert the RSSI value of the BLE (Bluetooth Low Energy) Beacons to Meters,” *Medium*, Jun. 09, 2020. <https://rakshitshah.medium.com/formula-to-convert-the-rssi-value-of-the-ble-bluetooth-low-energy-beacons-to-meters-12a2fa426a2e> (accessed Apr. 02, 2021).
- [21] “CraftJS” Accessed: Apr. 13, 2021. [Online]. Available: <https://github.com/Valtakausi/craftjs>.
- [22] A. Zucconi, “Positioning and Trilateration,” *Alan Zucconi*, Mar. 13, 2017. <https://www.alanzucconi.com/2017/03/13/positioning-and-trilateration/> (accessed Apr. 04, 2021).