



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Lyhyen matkan langattoman kommunikaation eri metodien vertaaminen

Kusti Mettovaara

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Heinäkuu 2023

TIIVISTELMÄ

Lyhyen matkan langattoman kommunikaation metodien vertaaminen

Kusti Mettovaara

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2023, 34 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Yrjö Louhisalmi

Kandidaatintyössäni vertailen erilaisia lyhyen matkan langattoman kommunikaation metodeja kirjallisesti ja käytännössä vertailen Bluetoothia ja WLAN:ia. Työssäni on teoriaosuus, tutkimusosuus ja lopuksi johtopäätökset.

Teoriaosuudessa käyn läpi yleisesti langatonta kommunikaatiota ja sen toimintaa. Sen jälkeen syvennyn eri metodeihin ja niiden toimintoihin ja ominaisuuksiin.

Tutkimuksessa tarkoituksena on yhdistää älypuhelin kannettavaan tietokoneeseen ja mitata metodien tiedonsiirtonopeutta. Ideana on käyttää kahta eri metodia ja ottaa huomioon niiden hyvät ja heikot puolet ja lopuksi verrata niitä toisiinsa.

Asiasanat: Radiotaajuus, langaton kommunikaatio, WLAN, Bluetooth

ABSTRACT

Comparing short-range wireless communication methods

Kusti Mettovaara

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2023, 34 pp.

Supervisor at the university: Yrjö Louhisalmi

In my bachelor's thesis, I will compare various short-range wireless communication methods theoretically. I will also compare Bluetooth and WLAN in practice. The thesis consists of three parts: the theoretical background, research section and finally conclusions.

In the theoretical background, I discuss wireless communication in general and its functioning. After that, I delve into different methods, their functionalities, and characteristics.

The research part involves connecting a smartphone to a laptop and measuring the data transfer speed of different methods. The idea is to use two different methods, considering their strengths and weaknesses, and finally, compare them with each other.

Keywords: Radio frequency, wireless, WLAN, Bluetooth

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 Johdanto	6
2 Langaton kommunikaatio	7
2.1 Lyhyen matkan langaton kommunikaatio	8
2.1.1 Bluetooth.....	9
2.1.2 WLAN	10
2.1.3 Infrapuna.....	12
2.1.4 ZigBee.....	14
2.1.5 RFID	15
2.1.6 NFC.....	18
2.1.7 UWB	20
3 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN	22
3.1 Tutkimusmenetelmät.....	22
3.2 Mittaukset ja tulokset	25
3.3 Johtopäätökset	28
4 YHTEENVETO	30
LÄHDELUETTELO	31

MERKINNÄT JA LYHENTEET

FCC Federal communications commission

LD Laser diode

LED Light-emitting diode

LOS Line-of-sight

MAS Multiple address system

NFC Near field connection

NLOS Non-line-of-sight

RFID Radio frequency identification

UWB Ultra wideband

Wi-Fi Wireless fidelity

WLAN Wireless local area network

1 JOHDANTO

Työn aiheena on erilaiset lyhyen matkan langattoman kommunikaation menetöt ja niiden erot ja toiminnot.

Langaton kommunikaatio on tullut yleiseksi asiaksi jokaisen ihmisen arjessa. Olisi se vaikka radion kuunteleminen tai älykellon käyttö, langatonta kommunikaatiota on kaikkialla. On monenlaista eri tapaa toteuttaa langaton kommunikaatio. Tässä kandidaatintyössä käyn läpi yleisimmät ja parhaiten tunnetut menetöt.

Tässä kandidaatintyössä on myös kahden erilaisen metodin vertailua ja ominaisuuksien testaamista käytännössä. Tutkimisen alla on Bluetooth ja WLAN.

2 LANGATON KOMMUNIKAATIO

Langaton kommunikaatio on tiedonsiirtoa kahden tai useamman laitteen välillä käyttämättä fyysistä linkkiä laitteiden välillä. Langaton kommunikaatio on ollut pidempään olemassa kuin monesti käsitetään. Jo vuonna 1901 oli saatu langaton yhteys Atlantin Valtameren yli (Tse & Pramod, 2005). Ensimmäiset langattoman kommunikaation kaupalliset palvelut olivat toiminnassa jo 1970-luvun lopussa (Abu-Rgheff, 2007). Sen jälkeen teknologia on edennyt huimasti ja nykyajan yhteisö ei tulisi toimeen ilman sitä.

Langattoman kommunikaation eri metodeilla on enemmän yhteistä, mitä yleisesti käsitetään. Jokainen tekee jonkin tietyn asian todella hyvin, mutta yleisesti ne ovat yhteensopivia toistensa kanssa (Hunn, 2010). Langaton kommunikaatio suurimmassa osin käyttää radiotaajuuksia. Radiotaajuuden kaistaleveydellä voidaan vaikuttaa signaalin ominaisuuksiin (King, 2015). Matalammat taajuudet (100–900 MHz) tarjoavat laajemman toiminta-alueen, kun taas korkeammat taajuudet (2.4–5.8 GHz) tarjoavat nopeampaa tiedonsiirtoa pienemmällä alueella (King, 2015). Ominaisuudet ovat yleensä vaihtokauppaa toistensa kanssa. Toiminta-alueella tehdään vaihtokauppaa tiedonsiirron nopeudella ja kummallakin tehdään vaihtokauppaa energiankulutuksen kanssa (Hunn, 2010).

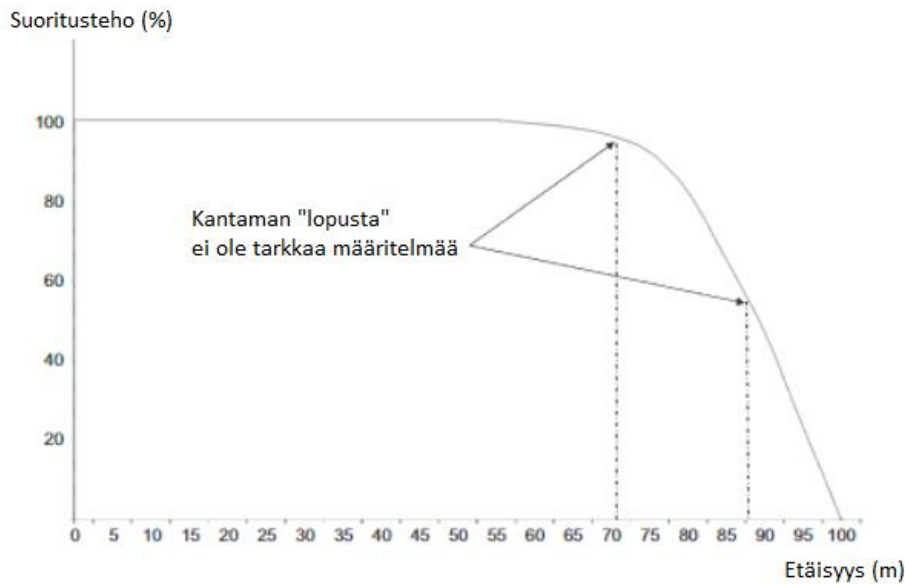
Radiotaajuuksia on lisensoituja ja ei-lisensoituja. Näitä valvoo Federal Communications Commission, joka lyhennetään FCC. Lisensoidut alemmat taajuudet (100–900 MHz) tunnetaan nimellä Multiple Address System eli MAS (King, 2015). Ne vaativat lisenssin hankkimisen FCC:ltä ja sen jälkeen niitä pidetään lisenssin omistajan omaisuutena ja saman taajuuden käyttöä ilman lupaa sakotetaan FCC:n puolesta (King, 2015). Suomessa esimerkiksi Elisa omistaa taajuuden 713–723 MHz maanlaajuisesti Ahvenanmaata lukuun ottamatta ja se käyttää sitä mobiiliverkkona (Traficom, 2023).

Ei-lisensoidut taajuudet ovat yleisesti korkeampia taajuuksia. Ne ovat avoinna kaikille, kuhan ne vain seuraavat tiettyjä teknisiä sääntöjä. FCC väliajoin tekee taajuuksista ei-lisensoituja niiden kokoaikaisen kasvavan tarpeen mukaan (Zhang et al., 2015).

2.1 Lyhyen matkan langaton kommunikaatio

Suunnitellessa lyhyen matkan langatonta kommunikaatiota laitteelle on tärkeää tietää tarvittavat parametrit (Hunn, 2010). Jotta laitteesta saadaan mahdollisimman kustannustehokas, ei siihen haluta ylimääräisiä ominaisuuksia, jotka tuovat lisää kustannuksia ja mahdollisesti haittaavat haluttuja toimintoja. Jokaisella menetelmällä on omat vaatimuksensa, mutta on silti järkevää käydä läpi yleisimmät parametrit, kuten kantama, energiankäyttö, tiedonsiirtonopeus, turvallisuus ja yhteyden tyyppi.

Kantama on yksi tärkeimmistä, jos ei tärkein ominaisuuksista. Suunnittelussa saattaa vaikuttaa mukavimmalta vain ylivoimittaa kantama, mutta asia ei ole niin yksinkertainen. Radion ollessa rakennuksen sisällä sen signaali vaimenee, luo interferenssiä ja heijastuu seinistä (Hunn, 2010). Nämä kaikki aiheuttavat kantaman heikentymisen. Kantamaa itsessään ei ole helppoa käsittää, koska se ei ole niin yksinkertainen kuin fyysisissä sovellutuksissa. Langattoman kommunikaation tehokkuus heikentyy, kun lähettimen ja vastaanottimen välille tulee matkaa (Hunn, 2010). Yleisesti kuitenkin sovellutuksilla on yleensä tietty matka, jonka jälkeen tiedonsiirto heikkenee nopeasti (Hunn, 2010).



Kuva 1. Kantaman kuvaaja (mukaiillen Hunn, 2010).

Kuten aiemmin mainittu tiedonsiirron nopeus on verrannollinen kantamaan, joten lyhyen matkan langaton kommunikaatio tuo yleensä korkeaa tiedonsiirtonopeutta. Saadakseen korkeimmat nopeudet kommunikaation menetelmät ahtavat yhteen bittiin niin paljon dataa kuin mahdollista (Hunn, 2010). Esimerkiksi Bluetooth ja WLAN yrittävät ahdata yhteen bittiin enemmän kuin bitin dataa, mikä mahdollistaa suurimman mahdollisen datan kulkeutumisen bitissä kerrallaan.

2.1.1 Bluetooth

Bluetooth on yleisimmin kaupallisesti käytetyistä lyhyen matkan langattoman kommunikaation metodeista. Bluetooth sai alkunsa 1998 ja sen alkuperäinen tarkoitus oli olla siltana puhelimen ja tietokoneen välillä, joka pystyy käsittelemään ääntä ja dataa käyttämällä vähän energiaa (Hunn, 2010). Sen jälkeen Bluetooth on muuttunut useasti ja nykyään Bluetoothia käytetään kahdessa eri muodossa, Bluetooth Classic ja Bluetooth Low Energy (Bluetooth, 2023).

Bluetooth Classic on alkuperäisen Bluetoothin tapainen yhteys. Se on vähän tehoa vaativa radio, joka käyttää yli 79 kanavaa 2.4 GHz taajuuskaistalla (2.4–2.485 GHz) (Bluetooth, 2023). Bluetoothilla on noin 10 m tehokas kantama. Sitä käytetään yleisimmin audion suoratoistoon langattomasti. Nykyään näkee enemmän langattomia kuulokkeita kuin langallisia ja ne yleisimmin toimivat Bluetoothilla.

Bluetooth Low Energy on käytännöllinen sen takia, että se tarvitsee todella vähän tehoa toimiakseen. Se käyttää yli 40 kanavaa 2.4GHz taajuuskaistalla (Bluetooth, 2023). Sen avulla voidaan luoda laitteiden verkostoja ilman suurta energianlähdettä.

Bluetooth on suosittu juuri sen takia, että se tarvitsee vähän tehoa ja se on halpa valmistaa. Tähän on johtanut se, että monet yritykset ovat auttaneet kehittämään Bluetoothia (Hunn, 2010). Bluetooth hyppii eri kanavilla, Classicilla 79 kanavaa ja Low Energyllä 40 kanavaa, määrättyssä järjestyksessä, joka juontaa ohjaavasta laitteesta (Hunn, 2010). Bluetooth Classicilla hyppyjä tapahtuu 1600 sekunnissa, mikä johtaa noin 1Mbps tiedonsiirtonopeuteen (Hunn, 2010).

Bluetoothille on määritelty eri luokkia. Luokkia on 1–3 ja ne eroavat toisistaan tehossa (Hunn, 2010). Luokka 1 on tehokkain 100 mW:lla, luokka 2 on toiseksi tehokkain 2.5 mW:lla ja luokka 3:lla on vain 1 mW (Hunn, 2010). Bluetooth Low Energy sijoittuu luokkien 1 ja 2 väliin, joten sitä kutsutaan 1.5 luokaksi ja sen teho on 10 mW (Bluetooth, 2023).

2.1.2 WLAN

WLAN eli wireless local area network on Bluetoothia tehokkaampi ja kattavampi vaihtoehto, joka tarvitsee enemmän energiaa toimiakseen (Cao et al., 2022). WLAN tunnetaan myös nimillä Wi-Fi (wireless-fidelity) ja IEEE 802.11. Tässä kandidaatintyössä käyn läpi WLAN:ista vain Wi-Fi-tyyppiset yhteydet ja käytän termejä vastaavasti. WLAN toteutettiin, koska haluttiin saada langaton LAN-verkko.

Ensimmäinen versio WLAN:sta kutsuttiin WaveLAN:ksi ja se ilmestyi markkinoille 1988 (Hunn, 2010). Sen jälkeen Wi-Fi on nähnyt monta erilaista muotoa muuttuen ja parantaen ominaisuuksia erilaisten tekniikoiden avulla.

Taulukko 1. Wi-Fi:n historiaa (Mukailten Cao et al., 2022).

Versio	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ax
Julkaisu aika	1999	1999	2003	2009	2013	2019
Taajuusalue	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz ja 5 GHz	5 GHz	2.4GHz ja 5 GHz
Tiedonsiirto- nopeus(Mbps)	54	11	54	600	866	1200
Suoritusteho (Mbps)	24	6	24	Yli 100	Yli 100	Yli 100
Kaistanleveys	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz– 40 MHz	80 MHz– 160 MHz	160 MHz
Modulaatio	OFDM	FCCK/ DSSS	CCK/ DSSS/ OFDM	MIMO/ OFDM/ DSS/CCK	MU- MIMO	OFDMA/ MUMIMO

WLAN pystyy monien datavirtojen avulla jopa 9.6 Gb/s tiedonsiirron nopeuteen ja sen kantama on korkeimmillaan 250 m (Mahmood et al., 2015). Muut Wi-Fi-tyypit, kuten

historiallisesti yleisesti käytetty IEEE 802.11b, kuitenkin pystyy vain 11 Mb/s tiedonsiirtonopeuteen (Cao et al., 2022). Käyttäen Multiple Input-Multiple Output (MIMO) rakennetta voidaan yhdelle virrälle saavuttaa jopa 1200 Mb/s nopeuksia. Tätä käyttää IEEE 802.11ax (Cao et al., 2022). WLAN:n parhaita ominaisuuksia on sen saatavuus. Lähes jokainen tietotekninen laite nykyään voidaan yhdistää Wi-Fi:in. WLAN:in huonoin puoli on sen turvallisuus, joka on heikko (Mahmood et al., 2015).

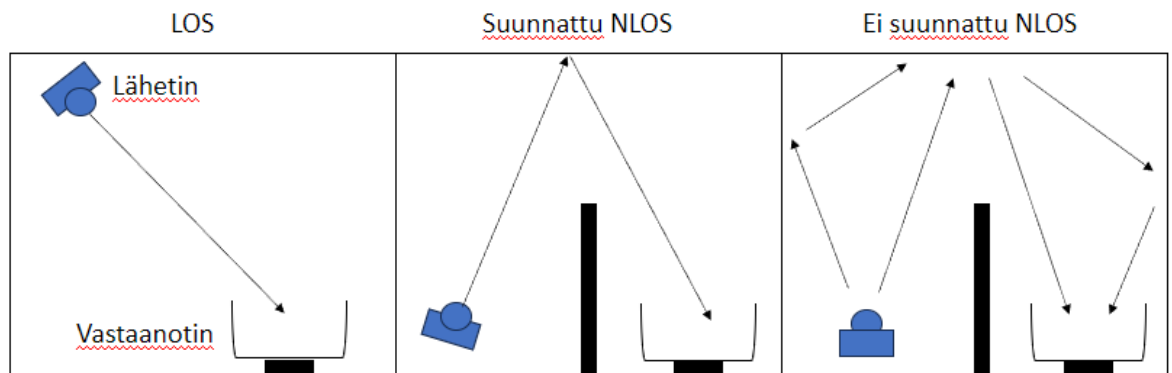
WLAN:ia käytetään monessa eri taajuuskaistassa. Historiallisesti yleisimmin käytetty IEEE 802.11b toimii 2.4 GHz kaistalla. Tämä on FCC:n rekisteröity kaista Wi-Fi:lle ja muut saman kaistan käyttäjät kuten Bluetooth joutuvat toimimaan ilman, että ne häiritsisivät Wi-Fi:n toimintaa (Zhang et al., 2015). Nykyäänkin monet Wi-Fi-tyypit toimivat 2.4 GHz kaistalla. Toinen käytetty kaista on 5 GHz. Wi-Fi:lle määrättyjen kanavien määrä vaihtelee paikoittain. Esimerkiksi Yhdysvalloissa on 11 määrättyä kanavaa ja Euroopassa se on 13 (Mahmood et al., 2015).

2.1.3 Infrapuna

Nykyään langattomasta kommunikaatiosta puhuttaessa oletetaan puhuttavan radion taajuuksia käyttävästä datan siirrosta. Näin ei aina ole. Radiotaajuuksien lisensointi ja muu suuri käyttö tuovat sille korkean hinnan, joten on järkevää etsiä muita vaihtoehtoja. Optical wireless communication (OWC) eli optinen langaton kommunikaatio on ollut olemassa jo pitkään ja periaatteessa pidempään kuin radiotaajuuksia käyttävä langaton kommunikaatio. Jo savumerkkejä voidaan pitää optisena langattomana kommunikaationa (Khalighi & Uysal, 2014). Optinen langaton kommunikaatio toimii näkyvällä, infrapuna ja ultravioletti-spektrillä (Khalighi & Uysal, 2014).

Infrapuna toimii 760 nm- 1 mm aallonpituuksilla ja sillä on mahdollista toteuttaa erilaisia ominaisuuksia eri aallonpituuksilla (Chowdhury et al., 2018). Infrapunasäteily ei kulje seinien läpi, mikä on hyödyksi ja haitaksi (Arnon et al., 2012). Hyvänä puolena on se, ettei se saa häirintää muista lähellä olevista infrapunalaitteista. Huonona puolena on sen käytettävyyden heikkeneminen, koska se tarvitsee näköyhteyden. Tämä näköyhteyden vaatimus voidaan ohittaa (Dimitrov & Haas, 2015). Infrapuna yhteydet voidaan jakaa

line-of-sight (LOS) ja non line-of-sight (NLOS) yhteyksiin (Arnon et al., 2012). LOS -yhteydessä on suora reitti lähettimen ja vastaanottajan välillä (Dimitrov & Haas, 2015). NLOS -yhteydessä käytetään pitkälti kahta eri metodia: suunnattua signaalia ja ei-suunnattua signaalia eli diffuusiota (Dimitrov & Haas, 2015). LOS -yhteydet ovat soveliaampia korkeampien nopeuksien yhteyksiin, kun taas NLOS -yhteydet tuovat laajemman kattavuuden (Langer & Grubor, 2007).



Kuva 2. LOS ja NLOS konfiguraatio (mukaiillen Dimitrow & Haas, 2015).

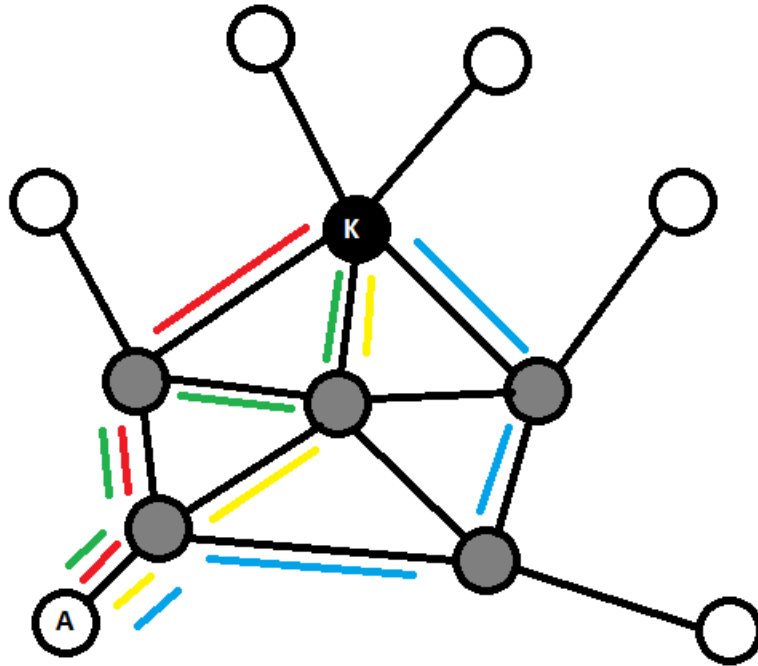
Infrapunasiinaalin lähettimenä toimii joko laseriodi (LD) tai light-emitting-diode eli LED. LED on tuttu käsite melkein kaikille, koska sitä käytetään kasvavassa määrin valaistuksessa ja muissa teknologisissa sovellutuksissa. LED pystyy vaihtamaan aallonpituuksiaan nopeasti ja tehokkaasti ja LED tarjoaa myös nopeaa tiedonsiirtonopeutta. Huono puoli LED:ssä on, että sen tuottama valo ei ole yhtenäistä. Toinen huono puoli LED:ssä on, että luonnonvalo voi vaikuttaa häiritsevästi sen toimintaan. Laserit sen sijaan ovat monokromaattisia eli sen tuottama signaali on kokonaisuudessaan samaa aallonpituutta, joten se on enemmän kohdistettua ja se voi kulkea pitkiä matkoja. Näiden ominaisuuksien takia LD on vähemmän häiriöherkkä ja sillä voidaan saavuttaa korkeampia tiedonsiirtonopeuksia verrattuna LED:iin. Huonoja

puolia LD-signaalissa on, että sillä on mahdollista vain pisteestä pisteeseen kommunikaatio ja LD:llä on mahdollisia negatiivisia terveysvaikutuksia, joten sen käyttö on vähäistä (Chowdhury et al., 2018)

2.1.4 ZigBee

ZigBee on langattoman kommunikaation metodi, joka toimii IEEE 802.15.4-standardin mukaan (Hunn, 2010). Sen kommunikaatioprotokolla perustuu nimensä mukaisesti bioniikkaan. ZigBee:n nimi tulee ampiaisista, jotka kommunikoivat käyttäen surisevaa ääntä (Rajeesh Kumar et al., 2017). ZigBee:n tarkoituksena on luoda vähävirtainen ja nopea tietoliikenneverkko halvalla (Hunn, 2010). ZigBee:n maksimi tiedonsiirtonopeus on 250 kbps ja sen kantama vaihtelee 10–100 m välillä (Rajeesh Kumar et al., 2017). ZigBee:tä käytetään kasvavassa määrin teollisuudessa ja kotitalouksissa, mutta sen heikoin ominaisuus on sen heikko turvallisuus (Pan, 2021). ZigBee:n etuna on sen monipuolisuus ja joustavuus. Jos jokin laitteista lopettaa toimintansa, se yleensä ei vaikuta verkoston toimintaan laajemmalla skaalalla. ZigBee:n toimii eri laajakaistoilla eri maissa, mutta se saa parhaimman datansiirtonopeuden yleisellä 2.4 GHz kaistalla (Rajeesh Kumar et al., 2017).

ZigBee verkossa on kolmenlaisia laitteita – ZigBee Coordinator, ZigBee Router ja ZigBee End Device. Jokaisessa verkossa on yksi ja vain yksi ZigBee Coordinator, mutta muita laitteita voi olla ja yleensä onkin useita (Hunn, 2010). ZigBee Coordinator eli koordinaattori on verkon ydin ja se toimii siltana kaikille verkoille. ZigBee Router eli reititin välittää dataa laitteesta toiselle ja sen tarkoituksena on pidentää verkon kantamaa. ZigBee End Device eli päätelaitte vaatii todella vähän resursseja ja sen ainoa tarkoitus on kommunikoida parent-laitteen kanssa (Rajeesh Kumar et al., 2017). Päätelaitteet ovat yleensä optimoitu olemaan suurimman osan pois päältä, joten ne eivät tarvitse juuri ollenkaan virtaa toimiakseen (Hunn, 2010).



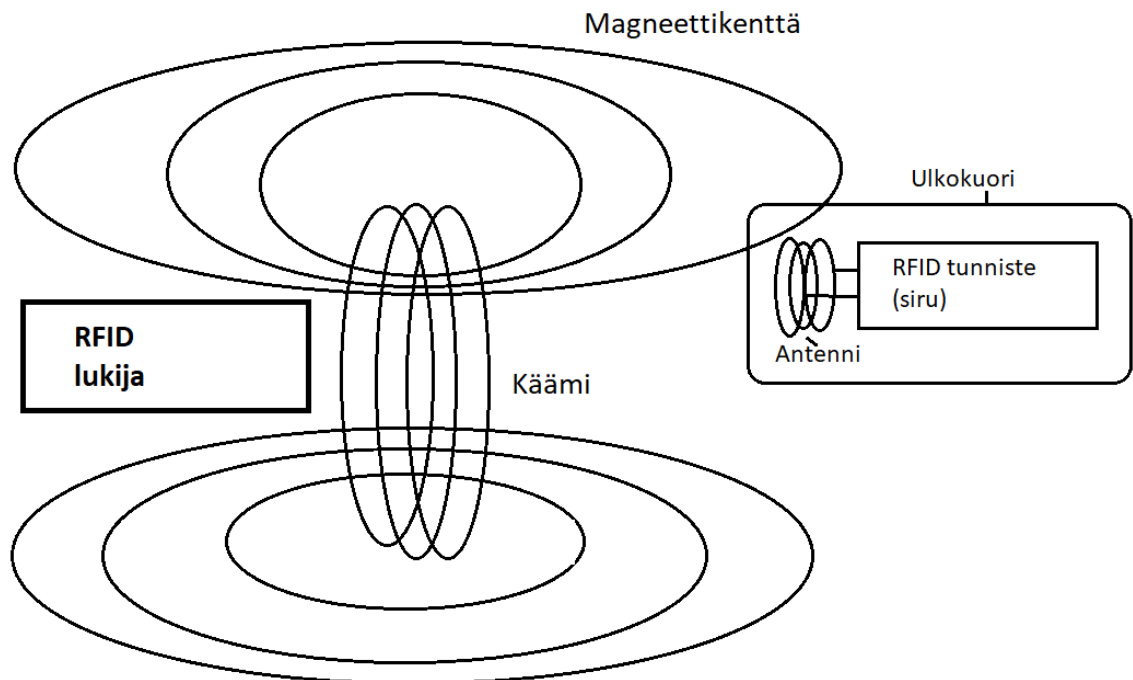
Kuva 3. ZigBee verkon kommunikaatio, jossa A on päätelaite ja K on koordinaattori (mukaillen Rajeesh Kumar et al., 2017).

2.1.5 RFID

RFID (Radio Frequency Identification) eli radiotaajuinen tunnistus on langattoman kommunikaation menetelmä, jota käytetään suurimmissa osin erilaisiin tunnistautumisiin. Alun perin RFID-teknologiaa kehitettiin viivakoodin seuraajaksi, mutta se on kehittynyt pidemmälle ja pystyy tekemään paljon enemmän kuin vain tunnistamaan (Want, 2006). RFID:tä käytetään tuotannon prosesseissa, varastojen käsittelyssä, logistiikan seurannassa ja monissa muissa eri käyttökohteissa (Tian, 2016). RFID:n suurimmat edut viivakoodiin verrattuna ovat suurempi talletustila, se ei vaadi näköyhteyttä ja sen avulla voidaan tunnistaa monta erilaista nopeastikin liikkuvaa objektia huonoissakin oloiloissa. Kuitenkin heikkoutena on toteuttamisen kallis hinta (Tian, 2016).

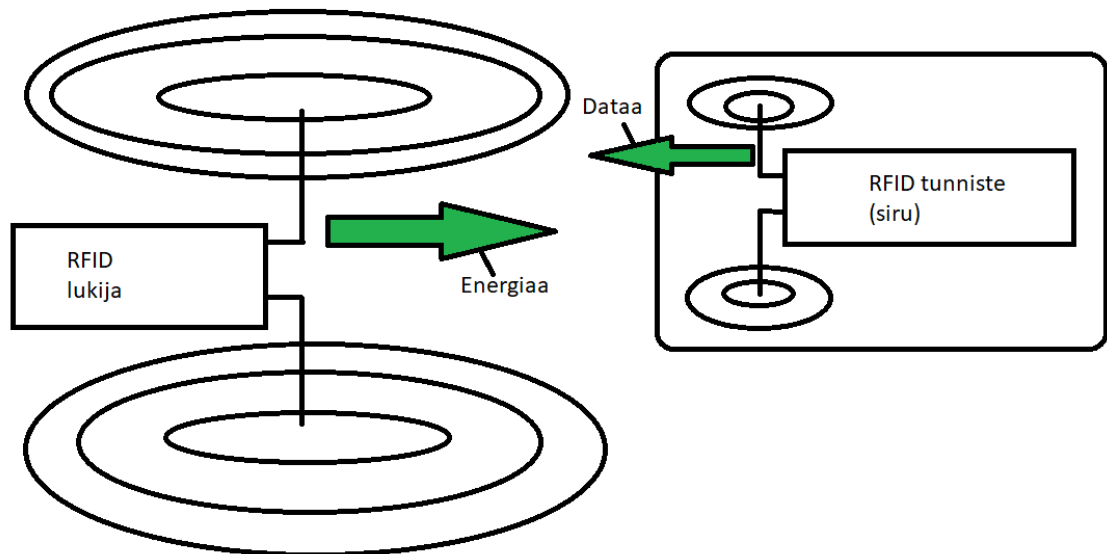
RFID-laitteiden tyyppjä on monia, mutta yleisesti ne jaetaan passiivisiin ja aktiivisiin laitteisiin (Want, 2006). Aktiivisilla tunnisteeilla on oma virtalähde tai ne ovat yhdistetty virtainfrastruktuuriin. Oman virtalähteen tapauksessa tunnisteen elinikä on rajoitettu virtalähteen suuruuteen. Näiden käyttö on rajoitetumpaa, koska ne vaativat enemmän kustannuksia, tilaa ja huollon toimenpiteitä (Want, 2006). Tästä syystä passiivisia tunnisteeita käytetään enemmän. Ne eivät vaadi itsenäistä virtalähdettä tai huoltotoimenpiteitä ja ne ovat kooltaan todella pieniä (Want, 2006). Yleisesti passiiviset tunnisteeet koostuvat kolmesta osasta. Antennista, puolijohteisesta sirusta ja ulkokuoresta. Tunnisteen lukija tuottaa energian tunnisteeelle. Tunnisteeessa antennin tehtävänä on ottaa vastaan lukijalta energia ja siirtää tietoa lukijalle. Sirun tehtävänä on koordinoida tämä prosessi. Ulkokuoren tehtävänä on suojella muita komponentteja. Kuoria on monenlaisia lasisista putkiloista muovisiin levyihin (Want, 2006).

Energian siirto lukijalta tunnisteele toimii yleisimmin kahdella eri tavalla. Toinen on magneettinen induktio ja toinen nappaus lukijan tuottamasta sähkömagneettisesta kentästä. Tunnistee vaatii todella vähän energiaa toimiakseen (Want, 2006). Magneettinen induktio toimii lyhyellä etäisyydellä. Se tuottaa energiaa, kun antenni tuodaan muuttuvaan magneettikenttään, jonka lukija luo käämillä. Energian saannin jälkeen tunnistee voi kommunikoida lukijan kanssa pientä määrää dataa, joka on yleensä vain lyhyt ID. Tätä kutsutaan lähialueen RFID:ksi ja se toimii yleensä alle 100 MHz taajuuksilla (Want, 2006). Lähialueen RFID on yksinkertaisin tapa toteuttaa RFID. Siitä syystä sitä käytetään paljon ja siitä on luotu standardeja kuten ISO 15693 ja 14443. Yksinkertaisuus johtaa myös heikkouksiin. Lähialueen RFID:llä on todella lyhyt kantama. Yleensä tunnisteen täytyy olla käytännössä kiinni lukijassa, jotta tiedonsiirto voi tapahtua. Lähialueen RFID ei myöskään pysty käyttämään lyhyen kantaman takia monta eri tunnistetta yhtä aikaa (Want, 2006).



Kuva 4. Lähialueen RFID:n energian tuotto ja datan siirto (mukaillen Want, 2006).

Tästä syystä on kehitelty laajan alueen RFID. Kuten edellä mainittu tämä toimii sähkömagneettisten aaltojen avulla. Lukijassa on dipoliantennit, jotka levittävät elektromagneettisia aaltoja. Tunnisteessa on myös dipoliantennit, jotka vastaan ottavat tämän energian vaihtuvana potentiaalineroina. Etuna tälle tekniikalle on sen pidempi kantama, mutta heikkoutena on, ettei lukija pysty lähettämään dataa tunnisteelle toisin kuin lähialueen RFID:ssä. Tyypillisesti taajuusalueena toimii korkeat taajuudet kuten 2.45 GHz. Näissä kantama voi olla jopa 100 metriä (Want, 2006).



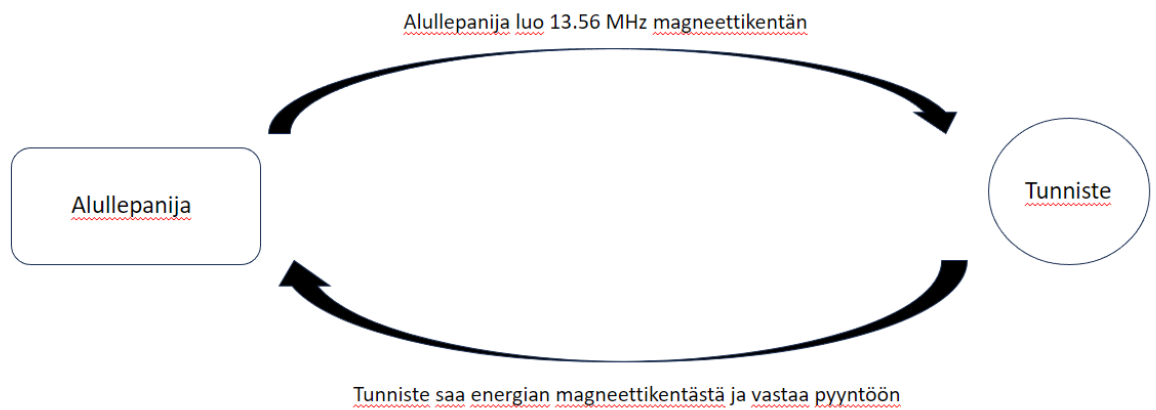
Kuva 5. Laaja-alueen RFID:n energian tuotto ja datan siirto (mukaillen Want, 2006).

RFID on hyvä, ellei paras, vaihtoehto tunnistuksessa langatonta kommunikaatiota käyttäessä. Sen heikkoudet ja hyvät puolet ovat siinä, että se ei vaadi paljon energiaa. Tämä tarkoittaa, että kulutus on pieni, mutta myös datan määrä on pieni. Monissa käyttökohteissa kuitenkin ei vaadita muuta kuin tunnistautumisen.

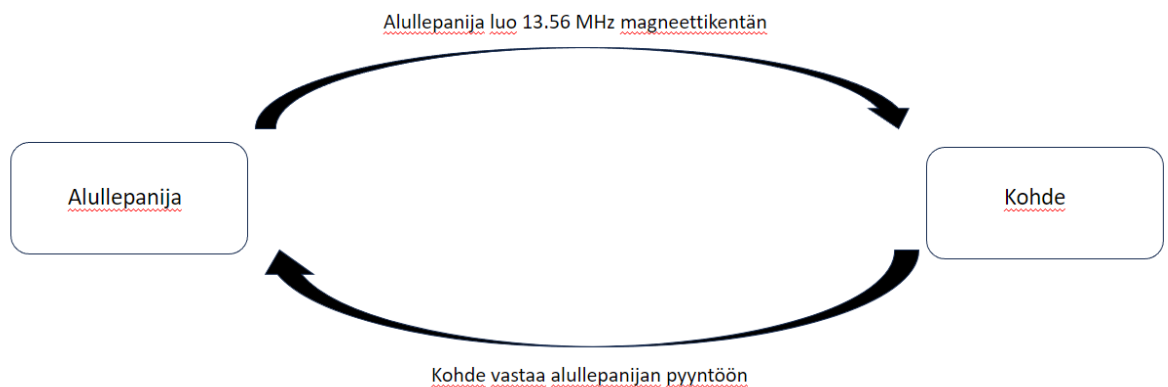
2.1.6 NFC

Near Field Communication eli NFC on RFID:stä juurtunut teknologia, joka on levinnyt omaksi teknologiakseen. NFC:n teknologia on samanlainen kuin lähialueen RFID eli se käyttää myös sähköistä induktiota, mutta laityypit ovat erilaisia. NFC ei käytä vain RFID:n lukija-tunniste-käytäntöä vaan siinä laitteet voivat olla rinnakkain ja jakaa dataa toistensa kanssa (Coskun et al., 2013). NFC on laajalti käytössä puhelimissa. Nykyään yleisin käyttökohte puhelimissa on lähimaksaminen.

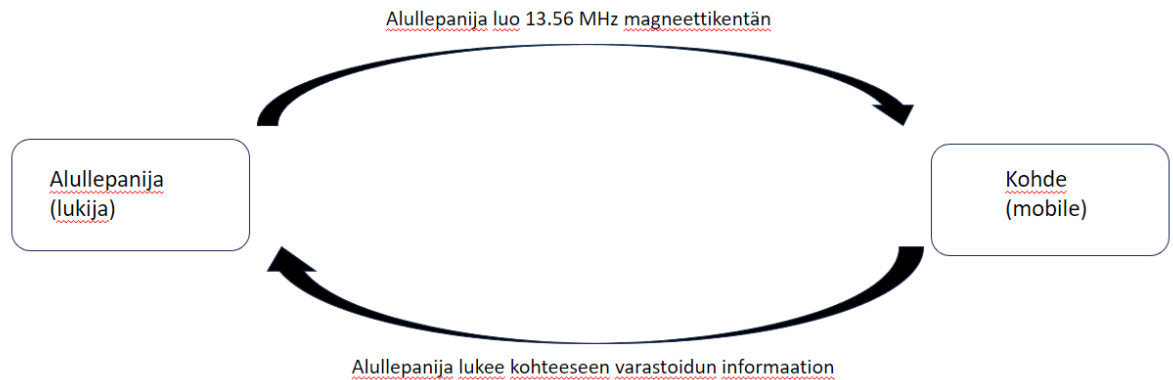
NFC kommunikaatio jakaa laitteet kolmeen tyyppiin: NFC -mobile, NFC -tunniste ja NFC -lukija. Näistä NFC -mobile ja NFC -lukija voivat olla yhteyden alullepanijoita. NFC -teknologia toimii kolmella eri tavalla: lukija-tunniste, vertaisverkko ja kortin jäljittely. NFC:n kantama on todella pieni eli käytännössä laitteiden pitää olla senttimetrien läheisyydessä toisistaan. Kaikissa NFC -teknologian tavoissa on alullepanija, joka luo 13.56 MHz magneettikentän ja pyynnön siitä, mihin se pyrkii. Tavot eroavat toisistaan siinä, mikä ja miten reagoivat alullepanijan pyyntöön (Coskun et al., 2013).



Kuva 6. Lukija-tunniste -teknologia (mukaillen Coskun et al., 2013).



Kuva 7. Vertaisverkko -teknologia (mukaillen Coskun et al., 2013).



Kuva 8. Kortin jäljittely -teknologia (mukailten Coskun et al., 2013).

2.1.7 UWB

Ultra Wideband eli UWB on lyhyen matkan kommunikaation teknologia, jossa kommunikaatio tapahtuu todella pienillä pulsseilla, joilla on alle nanosekunnin aikajakso. Näitä pulsseja lähetetään laajalla kaistaleveydellä, yleensä yli 500 MHz, 3.1 GHz – 10.6 GHz alueella käyttäen alhaista pulssisuhdetta, mikä johtaa pieneen energiankulutukseen (Zafari et al., 2019).

Uniikin teknologiansa ansiosta UWB on immuuni interferenssille, koska sen signaalityyppi ja radiospektri ovat niin erilaisia muihin teknologioihin verrattuna. UWB -signaali pystyy matalan taajuudensa ansiosta myös tunkeutumaan monen materiaalin läpi kuten seinien läpi. Näistä syistä UWB:ta käytetään paljon sisätiloissa, jossa interferenssi on suurta. Yksi käyttökohteista on muun muassa tietokoneen oheislaitteet. (Zafari et al., 2019). Toinen asia, missä UWB on todella hyvä, on paikannus. Pulssien lyhyt kesto mahdollistaa jopa 10 cm tarkan paikannuksen. Tästä syystä sitä käytetään myös muun muassa sairaaloissa (Zafari et al., 2019).

Näiden ominaisuuksien myötä voisi luulla UWB:n olevan laajemmin käytössä oleva langattoman kommunikaation metodi. Laajemman käytön puutteeseen on useita syitä,

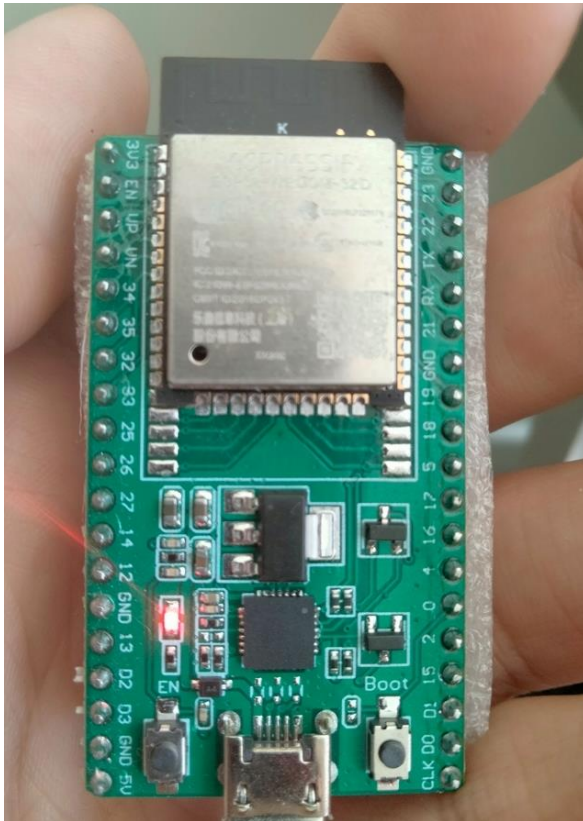
mutta niistä kaksi ovat suurimmat. UWB on verrattain nuori teknologia. Teknologian alle nanosekunnin aikajakso tekee synkronoinnista hankalaa (Yang & Giannakis, 2004). Näistä syistä kehitys on ollut hidasta. Apple julkaisi ensimmäiset puhelimet, joissa on UWB teknologia vasta vuonna 2019 vaikka FCC on antanut luvan käyttää UWB:ta markkinnallisessa käytössä jo vuonna 2002 (Barret, 2020).

3 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

3.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa on tarkoitus mitata Bluetoothin ja WLAN:n tiedonsiirtonopeutta eri tilanteissa. Tiedonsiirtonopeuteen vaikuttaa moni tekijä. Näitä on muun muassa signaalin vahvuus, välimatka, esteet ja muiden signaalien interferenssi. Halusin tutkia näiden asioiden vaikutusta kahdessa eri kohteessa. Yksi kohteista oli sellainen, missä on esteitä ja interferenssiä paljon. Tämä kuvastaa metodin todellista käyttöympäristöä. Tähän valitsin kerrostalohuoneiston. Toinen kohteista oli sellainen, missä ei ollut kovin paljon interferenssiä ja esteitä. Tällä pääsen tarkastelemaan välimatkan vaikutusta paremmin. Tähän valitsin tyhjän urheilukentän.

Aluksi yritin käyttää Espressif ESP32-WROOM-32D-alustaa yhdistämällä sen tietokoneeseen ja kirjoittamalla ohjelmakoodin, joka lähettää tietyn määrän dataa ja laskee tiedonsiirtonopeuden sen perusteella. Alustan käyttämä ohjelmointikieli ei ollut itselle tuttu, joten käytin ChatGPT -tekoälyä luomaan ohjelmakoodin.



Kuva 9. ESP32-WROOM-32D.

```

1  #include <BluetoothSerial.h>
2
3  BluetoothSerial SerialBT;
4
5  void setup() {
6      Serial.begin(115200);
7      SerialBT.begin("ESP32Test"); // Set the Bluetooth device name
8  }
9
10 void loop() {
11     static uint8_t data[] = "Hello, World!"; // Data to be transmitted
12     uint32_t start_time = millis(); // Record the start time
13     for (int i = 0; i < 10000; i++) { // Send the data 10000 times
14         SerialBT.write(data, sizeof(data));
15     }
16     uint32_t end_time = millis(); // Record the end time
17     uint32_t elapsed_time = end_time - start_time; // Calculate the elapsed time
18     float data_rate = sizeof(data) * 10000.0 / elapsed_time / 1000.0; // Calculate the data transfer rate in kilobits per second
19     Serial.print("Data transfer rate: ");
20     Serial.print(data_rate);
21     Serial.println(" kbps");
22     delay(1000); // Wait for a second before starting the next test
23 }
24

```

Kuva 10. Bluetoothin testaus -ohjelmakoodi.

Käynnistin ohjelman, paritin ESP32:n puhelimeeni ja käyttämällä puhelimeessani Serial Bluetooth Terminal -sovellusta aloin mittaamaan tiedonsiirtonopeutta. Ulostulo oli 0.9–0.11 kbps välillä. Tämä ei ollut realistinen arvo, koska tiesin muiden kokeilujeni perusteella sen olevan paljon suurempi. Lisäksi tiedonsiirtonopeus ei muuttunut, vaikka vein puhelimen kauas ESP32:sta. Se vain katkesi tietyn kantaman jälkeen. Keksinkin kaksi mahdollista syytä ongelmalleni. Ensimmäinen on, että ESP32:n ja puhelimen Bluetooth yhteys on sen verran heikko, että se ei pääse korkeampiin tiedonsiirtonopeuksiin. Toinen vaihtoehto ongelmalle on, että koodi olisi virheellinen. Kokeilin muita variaatiota, joita ChatGPT minulle antoi, mutta mikään ei toiminut. Itse en yrittänyt manuaalisesti korjata ohjelmaa, koska kieli ei ollut minulle tuttu. Parin päivän tuloksettoman ongelmanratkaisun jälkeen päätin kokeilla muuta lähestymistapaa mittaukseen.

```
Data transfer rate: 0.11 kbps
Data transfer rate: 0.11 kbps
Data transfer rate: 0.10 kbps
Data transfer rate: 0.10 kbps
Data transfer rate: 0.10 kbps
Data transfer rate: 0.11 kbps
Data transfer rate: 0.11 kbps
```

Kuva 11. Ohjelmakoodin ulostulo.

Loppujen lopuksi kokeessa yhdistin OnePlus Nord N100 älypuhelimeni Asus M509D kannettavaan tietokoneeseen Bluetoothilla ja WLAN-yhteydellä. WLAN-yhteyteen käytin älypuhelimien verkonjakamisominaisuutta. Tiedonsiirtonopeuden mittaaminen tapahtui eri tavalla metodikohtaisesti. WLAN:lle käytin www.speedtest.com nettisivua, joka mittaa lataus- ja lähetysnopeuden. Tässä kokeessa mittasin pelkästään latausnopeutta. Bluetoothille mittaus toimi eri tavalla. Mittauksessa piti käyttää vähän epätarkempaa, mutta vertailukelpoista metodologiaa. Aluksi loin Windowsin komentokehoteessa käyttämällä `fsutil`-komentoa yhden megatavun kokoisen tiedoston.

Tämän tiedoston lähetin Bluetoothin välityksellä kannettavalta tietokoneelta älypuhelimelle ja mittasin tiedonsiirtoon kuluneen ajan. Tästä pystyi laskemaan tiedonsiirtonopeuden.

```
C:\WINDOWS\system32>fsutil file createnew testifilu1mb.txt 1000000
File C:\WINDOWS\system32\testifilu1mb.txt is created
```

Kuva 12. Fsutil-komento.

3.2 Mittaukset ja tulokset

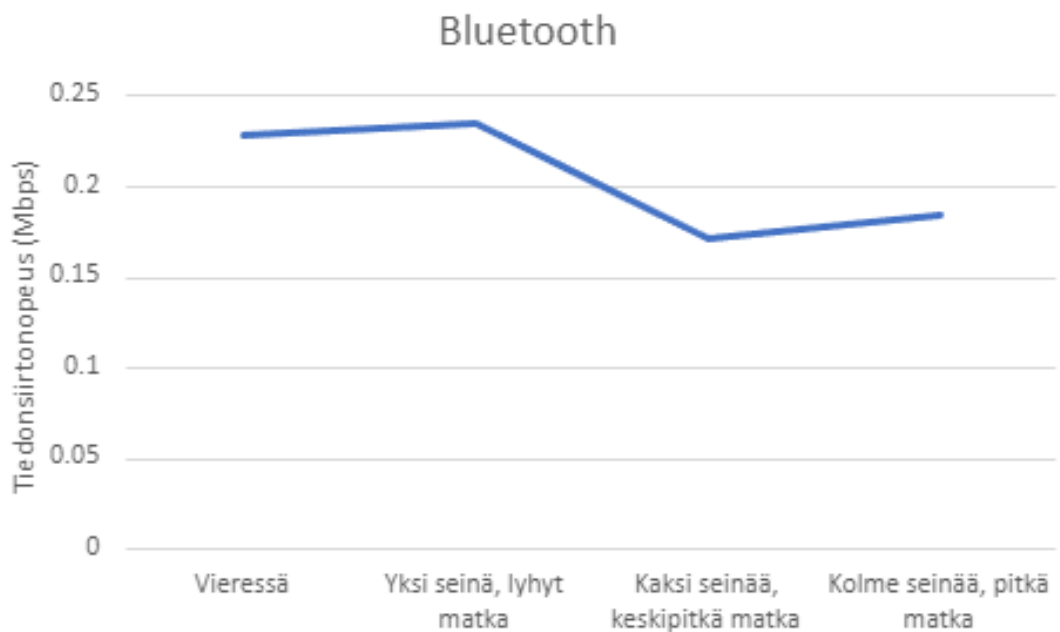
Mittaukset päätin tehdä kolmee kertaa jokaisessa tilanteessa, jotta saisin mahdollisimman hyvän kuvan tiedonsiirtonopeudesta siinä tilanteessa. Kerrostalohuoneistossa mittasin ensimmäiseksi vierestä, sen jälkeen yhden seinän läpi lyhyellä eli noin 3 m välimatkalla, sen jälkeen kahden seinän läpi keskipitkältä eli noin 6 m välimatkalta ja lopuksi kolmen seinän läpi pitkältä eli noin 10 m välimatkalta. Tätä pidemmälle mennessä yhteys katkesi kummassakin metodissa. Näistä mittauksista laskin keskiarvot ja tein taulukon ja kuvaajat kummallekin metodille.

Taulukko 3. Kerrostalohuoneistossa tehdyn mittauksen tulokset.

Esteet, matka	WLAN (Mbps)	Bluetooth (Mbps)
Vieressä	41	0.229
Yksi seinä, lyhyt matka	39	0.235
Kaksi seinää, keskipitkä matka	27	0.171
Kolme seinää, pitkä matka	8	0.185



Kuva 13. Kerrostalohuoneistossa WLAN:n tiedonsiirtonopeuden kuvaaja.

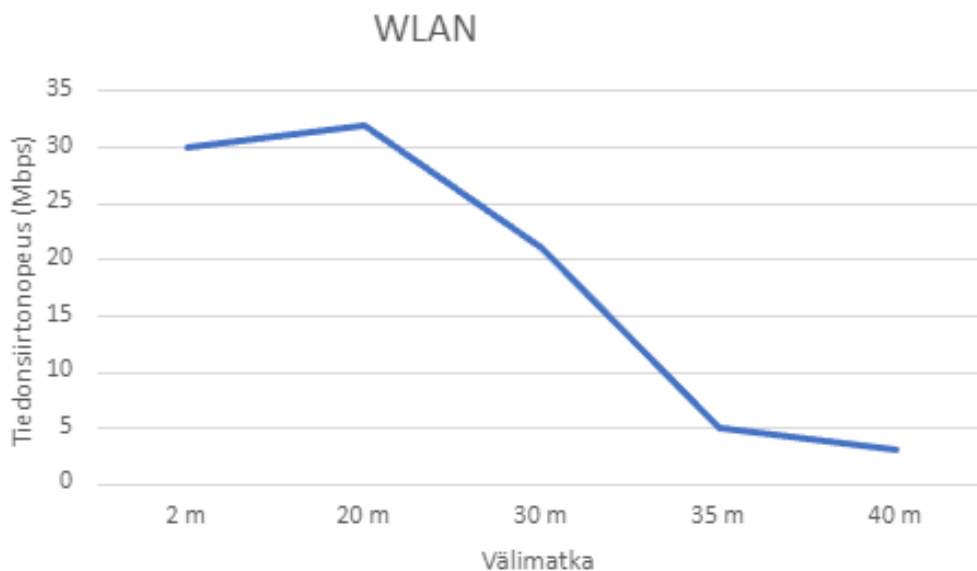


Kuva 14. Kerrostalohuoneistossa Bluetoothin tiedonsiirtonopeuden kuvaaja.

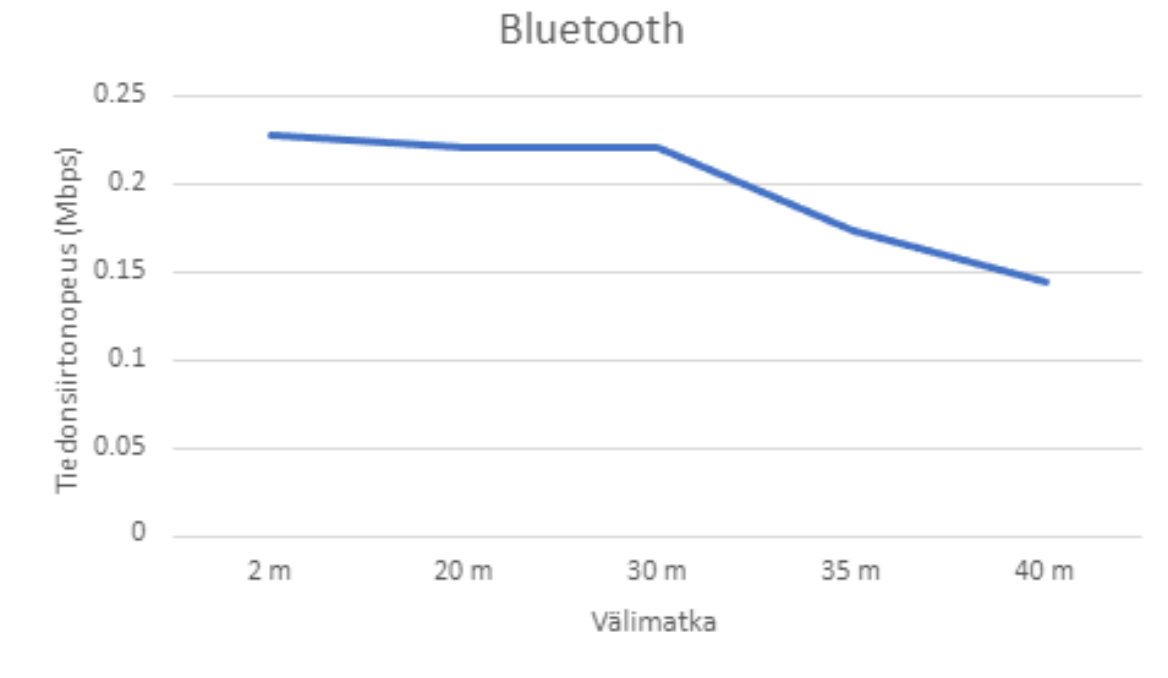
Kentällä myös mittasin aluksi läheltä ja sen jälkeen progressiivisesti pidensin välimatkaa. Yhteys katkesi 45 m kohdalla WLAN:sta ja Bluetooth toimi pätkittäin, mutten voinut mitata tiedonsiirtonopeutta, koska en saanut tarpeeksi pitkäaikaista yhteyttä. Myös näistä mittauksista tein taulukon ja kuvaajat.

Taulukko 4. Kentällä tehdyn mittauksen tulokset.

Välimatka	WLAN (Mbps)	Bluetooth (Mbps)
2 m	30	0.228
20 m	32	0.222
30 m	21	0.222
35 m	5	0.174
40 m	3	0.145



Kuva 15. Kentällä WLAN:n tiedonsiirtonopeuden kuvaaja.



Kuva 16. Kentällä Bluetoothin tiedonsiirtonopeuden kuvaaja.

3.3 Johtopäätökset

Tulokset olivat osittain niin kuin odotin. Vaikka tiedonsiirtonopeuksien arvot voivat olla kyseenalaistettavissa, eri tekijöiden vaikutus niihin näkyy kuitenkin mittauksissa. Kummallakin metodilla kummassakin tilanteessa tiedonsiirtonopeus pysyi suhteellisen korkealla aina tiettyyn pisteeseen asti, missä se laski huomattavasti. WLAN:lla tämä lasku oli dramaattisempi kuin Bluetoothilla, mutta kummatkin yhteydet katkesivat silti suunnilleen samalla välimatkalla.

Interferenssi vaikutti WLAN:iin enemmän kuin Bluetoothiin tiettyyn pisteeseen asti, mutta yhteyden kantamaan se vaikutti kummallakin metodilla samalla tavalla. Bluetoothin tiedonsiirtonopeuteen interferenssi vaikutti aika vähän. WLAN:lla interferenssi vauhditti tiedonsiirtonopeuden laskua välimatkan kasvaessa. Kummassakin interferenssin vaikutus näkyi selvemmin välimatkan pidentyessä. Vieressä ollessa interferenssillä ei ollut vaikutusta tiedonsiirtonopeuteen.

Loppujen lopuksi WLAN ja Bluetooth ovat ytimessään samanlaisia lyhyen matkan langattoman kommunikaation metodeja ja niiden ominaisuudet ovat kovin yhdenlaisia. WLAN:lla saadaan korkeammat tiedonsiirtonopeudet aikaiseksi, kun taas Bluetoothiin interferenssi ei vaikuta niin suuresti ja se ei vaadi niin paljon virtaa. Kummallekin on omat paikkansa oikeissa kohteissa, kuten kaikilla langattoman kommunikaation metodeilla.

4 YHTEENVETO

Lyhyen matkan langaton kommunikaatio toimii yleisimmin ja tehokkaimmin radiotaajuuksilla. Siitä on tehty monta eri variaatiota, mutta ytimessään suurin osa toimii samalla tavalla – dataa lähetetään käyttäen elektromagneettisia aaltoja. Kohteessa käytettävän metodin päättämässä pitää ottaa monet asiat huomioon. Muun muassa interferenssi, välimatkat, tarvittava datansiirtonopeus ja energiatehokkuus ovat kaikki tekijöitä, jotka vaikuttavat metodin valinnassa.

Nykyään metodeja tulee koko ajan lisää ja entiset kehittyvät kovaa tahtia luoden uusia tekniikoita parantaakseen omaa menetelmää. Tästä syystä on melkein mahdotonta olla täysin varma valittaessa käytettävää metodologiaa, onko se paras mahdollinen vaihtoehto. Kuitenkin suurin osa metodeista ovat kilpailukykyisiä keskenään ja olosuhteet tulisi ottaa ensisijaisesti huomioon metodologiaa valittaessa.

LÄHDELUETTELO

- Abu-Rgheff, M. A. (2007). *Introduction to CDMA Wireless Communications: Vol. 1st ed.* Academic Press.
<http://pc124152.oulu.fi:8080/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=203093&site=ehost-live&scope=site>
- Arnon, S., Barry, J. R., Karagiannidis, G. K., Schober, R., & Uysal, M. (2012). Advanced optical wireless communication systems. In *Advanced Optical Wireless Communication Systems* (Vol. 9780521197878).
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511979187>
- Cao, S., Chen, X., & Yuan, B. (2022). Overview of Short-range Wireless Communication Protocol. *2022 7th International Conference on Computer and Communication Systems, ICCCS 2022*, 519–523.
<https://doi.org/10.1109/ICCCS55155.2022.9846125>
- Chowdhury, M. Z., Hossan, M. T., Islam, A., & Jang, Y. M. (2018). A Comparative Survey of Optical Wireless Technologies: Architectures and Applications. *IEEE Access*, 6, 9819–9840. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2792419>
- Coskun, V., Ozdenizci, B., & Ok, K. (2013). A survey on near field communication (NFC) technology. *Wireless Personal Communications*, 71(3), 2259–2294.
<https://doi.org/10.1007/s11277-012-0935-5>
- Dimitrov, S., & Haas, H. (2015). *Principles of LED Light Communications : Towards Networked Li-Fi.* Cambridge University Press.
<http://pc124152.oulu.fi:8080/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=946366&site=ehost-live&scope=site>

- Hunn, N. (2010). *Essentials of Short-Range Wireless*. Cambridge University Press. <http://pc124152.oulu.fi:8080/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=324017&site=ehost-live&scope=site>
- Khalighi, M. A., & Uysal, M. (2014). Survey on free space optical communication: A communication theory perspective. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(4), 2231–2258. <https://doi.org/10.1109/COMST.2014.2329501>
- King, C. (2015). Wireless communication: A basic tutorial on radio technology. *IEEE Industry Applications Magazine*, 21(2), 14–18. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2014.2345816>
- Langer, K.-D., & Grubor, J. (2007). Recent developments in optical wireless communications using infrared and visible light. *Proceedings of 2007 9th International Conference on Transparent Optical Networks, ICTON 2007*, 3, 146–151. <https://doi.org/10.1109/ICTON.2007.4296267>
- Mahmood, A., Javaid, N., & Razzaq, S. (2015). A review of wireless communications for smart grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.036>
- Pan, T. (2021). ZigBee Wireless Network Attack and Detection. In *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 1424). https://doi.org/10.1007/978-3-030-78621-2_32
- Rajeesh Kumar, N. V., Bhuvana, C., & Anushya, S. (2017). Comparison of ZigBee and Bluetooth wireless technologies-survey. *2017 International Conference on Information Communication and Embedded Systems, ICICES 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICICES.2017.8070716>
- Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. *2016 13th International Conference on Service*

Systems and Service Management, ICSSSM 2016.
<https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2016.7538424>

Tse, D., & Pramod, V. (2005). Fundamentals of wireless communication. In *Fundamentals of Wireless Communication* (Vol. 9780521845274).
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511807213>

Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE Pervasive Computing*, 5(1), 25–33. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2006.2>

Yang, L., & Giannakis, G. B. (2004). Ultra-wideband communications. *IEEE Signal Processing Magazine*, 21(6), 26–54. <https://doi.org/10.1109/MSP.2004.1359140>

Zafari, F., Gkelias, A., & Leung, K. K. (2019). A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 21(3), 2568–2599.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2911558>

Zhang, H., Chu, X., Guo, W., & Wang, S. (2015). Coexistence of Wi-Fi and heterogeneous small cell networks sharing unlicensed spectrum. *IEEE Communications Magazine*, 53(3), 158–164.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7060498>

<https://www.traficom.fi/en/communications/communications-networks/frequencies-and-license-holders-public-mobile-networks> Viitattu 22.2.2023

<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/> Viitattu 22.2.2023

<https://www.wired.com/story/apple-u1-chip/> Viitattu 12.7.2023

