

Marko Lindberg

Hajaspektrilähetteen ja kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuuden vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

2.5.2016

| | |
|--|---|
| Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika | Marko Lindberg Hajaspektrilähetteen ja kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuuden vertailu 28 sivua + 6 liitettä 2.5.2016 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Sähkötekniikan koulutusohjelma |
| Suuntautumisvaihtoehto | Elektroniikka ja terveydenhuollon tekniikka |
| Ohjaaja(t) | Matti Fischer, yliopettaja, Metropolia Ammattikorkeakoulu Ville Voipio, liiketoiminnan johtaja, Si-Tecno Oy |
| <p>Tämä insinöörityö tehtiin Si-Tecno Oy:lle, joka on suomalainen elektroniikkatuotteiden suunnitteluun ja valmistamiseen erikoistunut yritys.</p> <p>Työn tarkoituksena oli vertailla kapeakaistaisen lähetteen ja hajaspektrilähetteen kuuluvuutta. Työn alussa käydään läpi molemmat lähetystekniikat ja esitellään muutamia sovelluksia, joissa kyseisiä tekniikoita hyödynnetään.</p> <p>Lähetystekniikoiden vertailua suoritettiin kahdessa eri kerrostalokiinteistössä, jonka lisäksi rakennettiin mittausympäristö, jossa saatiin mitattua erikseen kapeakaistaisen lähetteen ja hajaspektrilähetteen kuuluvuutta.</p> <p>Hajaspektrilähetteen kantama oli selkeästi kapeakaistaista lähetettä laajempi. Anturin sijainnilla ei ollut kummassakaan läheteessä kovin suurta merkitystä.</p> | |
| Avainsanat | Hajaspektrilähete, kapeakaistainen lähete, kuuluvuus |

| | |
|--|--|
| Author(s) Title | Marko Lindberg Comparison between Spread Spectrum Signal and Narrowband Signal |
| Number of Pages Date | 28 pages + 6 appendices 2 May 2016 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Electrical Engineering |
| Specialisation option | Electronics and Medical Engineering |
| Instructor(s) | Matti Fischer, Principal Lecturer, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences Ville Voipio, Business Development Manager, Si-Tecno Oy |
| <p>This Bachelor's thesis was made for Si-Tecno Oy. Si-Tecno Oy is specialized in designing and manufacturing electronic products.</p> <p>The purpose of this work was to compare Narrowband Signal and Spread Spectrum Signal. In the beginning of the thesis both signal techniques and some applications were introduced.</p> <p>Comparison between signal techniques was made in two different apartment buildings. In addition other measurements were made in separate measuring environment, which were built for this bachelor's thesis. In this environment I was able to measure both signal techniques separately.</p> <p>The range of the Spread Spectrum Signal was much wider than the range of the Narrowband Signal. The position of the sensor hadn't such significant effect of the signal strength.</p> | |
| Keywords | Spread Spectrum Signal, Narrowband Signal, Signal strength |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Lähetystekniikat | 1 |
| 2.1 | Kapeakaistainen lähete | 1 |
| 2.1.1 | Päälle / Pois - modulaatio | 1 |
| 2.1.2 | Amplitudimodulaatio | 2 |
| 2.1.3 | Kaksisivukaista- ja yksisivukaistalähete | 3 |
| 2.1.4 | Taajuusmodulaatio | 4 |
| 2.1.5 | Taajuus- ja vaiheavainnus | 4 |
| 2.1.6 | GMSK | 5 |
| 2.2 | Hajaspektritekniikka | 6 |
| 2.2.1 | Taajuushyppely | 6 |
| 2.2.2 | Suorasekventointi | 7 |
| 2.2.3 | Ultra Wideband (UWB) | 8 |
| 2.2.4 | Viserrysmodulaatio | 9 |
| 3 | Lähetystekniikoiden etuja / haittoja | 10 |
| 3.1 | Teoria | 10 |
| 3.1.1 | Shannon-Hartley-laki | 10 |
| 3.1.2 | Terminen kohina | 11 |
| 3.1.3 | Tiedonsiirtonopeuden ja kaistanleveyden suhde | 11 |
| 3.2 | Radiotien jakaminen | 11 |
| 3.2.1 | Taajuusjakokanavointi | 12 |
| 3.2.2 | Aikajakokanavointi | 14 |
| 3.2.3 | Code Division Multiplexing (CDM) | 15 |
| 3.3 | Häiriönsieto | 16 |
| 3.3.1 | Mittaluvut | 16 |
| 3.3.2 | Häiriötyypit | 17 |
| 4 | Radiosignaalin eteneminen sisätiloissa | 18 |
| 4.1 | Vapaat ISM-taajuudet | 18 |
| 4.2 | Monitie-eteneminen | 19 |

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 4.3 | Rakenteiden vaikutus | 20 |
| 5 | Kuuluvuuksien vertailu | 20 |
| 5.1 | Mittausympäristön rakentaminen | 22 |
| 5.1.1 | Hajaspektrilähete | 24 |
| 5.1.2 | Kapeakaistainen lähete | 25 |
| 6 | Tulosten tarkastelu | 26 |
| 6.1 | Hajaspektrilähetteen kuuluvuus | 26 |
| 6.2 | Kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuus | 26 |
| 7 | Yhteenveto | 27 |
| | Lähteet | 28 |

Liitteet

Liite 1. Hajaspektrilähetteen kuuluvuus ensimmäisessä kiinteistössä

Liite 2. Hajaspektrilähetteen kuuluvuus toisessa kiinteistössä

Liite 3. Kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuus ensimmäisessä kiinteistössä

Liite 4. Kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuus toisessa kiinteistössä

Liite 5. Hajaspektrilähetteen kuuluvuus anturin sijainnin muuttuessa

Liite 6. Kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuus anturin sijainnin muuttuessa

Lyhenteet

| | |
|------|---|
| AM | A mplitude M odulation, amplitudimodulaatio, jossa viesti välitetään kantoaallon amplitudin vaihteluina. |
| OOK | O n- O ff- K eying. Tarkoittaa kantoaallon kytkemistä päälle ja pois. |
| FM | F requency M odulation, taajuusmodulaatio, jossa kantoaallon taajuus vaihtelee tietyllä taajuusalueella. |
| GPS | G lobal P ositioning S ystem, on maailmanlaajuinen paikantamisjärjestelmä. |
| SSB | S ingle S ideband M odulation, sivunauhamodulaatio, jossa viesti välitetään poistamalla amplitudimodulaation tuloksesta kantoaalto ja toinen sivunauha. |
| DSB | D ouble S ideband M odulation, kahden sivunauhan modulaatio, jossa viesti välitetään poistamalla amplitudimodulaation tuloksesta kantoaalto. |
| PER | P acket E rror R ate, pakettivirhesuhde saadaan jakamalla virheellisesti vastaanotettujen pakettien määrä onnistuneesti vastaanotettujen pakettien määrällä. |
| BER | B it E rror R ate, bittivirhesuhde kuvaa virheellisten bittien määrää verrattuna johonkin referenssimäärään. |
| FSK | F requency S hift K eying, taajuusmodulointimenetelmä, jolla lähetetään digitaalista tietoa. |
| PSK | P hase S hift K eying, vaihemodulointi, jossa moduloiva viesti muuttaa kantoaallon vaihetta suoraan ja hetkellinen vaihe kertoo sanoman arvon. |
| FHSS | F requency H opping S pread S pectrum, taajuushyppely, jossa lähettäjä vaihtaa lähetystaajuutta tietyn algoritmin mukaisesti. |

| | |
|------|--|
| DSSS | D irect S equence S pread S pectrum, suorasekventointi, jossa lähetettävä sanoma jaetaan pieniin osiin ja lähetetään koko taajuusalueella yhtenä signaalina. |
| FDM | F requency D ivision M ultiplexing. Taajuusjakokanavointi, jossa jokainen signaali keskittyy omalle taajuusalueelle. |
| TDM | T ime D ivision M ultiplexing. Aikajakokanavointi, jossa jokainen lähetys on jaettu omiin kehyksiin ja niitä lähetetään tietyin väliajoin. |
| CDM | C ode D ivision M ultiplexing. Koodijakokanavointi, jossa yksilöllinen koodi erottaa käyttäjät toisistaan. |
| WDM | W avelength D ivision M ultiplexing. Aallonpituuskanavointi, jossa jokainen signaali välitetään tietyllä aallonpituudella valokuitua pitkin. |
| RF | R adio F requency, radiotaajuus. |
| ISM | I ndustry, S cientific, M edical, maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, jonka käyttäminen ei vaadi erillistä lupaa. |
| GSM | G lobe S ystem for M obile C ommunications, maailmanlaajuisesti käytetty matkapuhelinjärjestelmä. |
| UWB | U ltra W ide B and, radioteknologia, jossa siirrettävä data lähetetään laajalla taajuuskaistalla pienitehoisina ja lyhyinä pulsseina. |
| CSS | C hirp S pread S pectrum, viserrysmodulaatio on digitaalitekniikassa käytetty hajaspektrilähete. |
| ULA | U ltralyhyet a allot, on radioaaltojen taajuusalue, jolla lähetetään sekä kaupallista että yleisradio-ohjelmaa taajuusmoduloina taajuuksilla 87,5-108,0 MHz. |
| GMSK | G aussian M inimum S hift K eying, tekniikassa on yhdistetty taajuus- ja vaihemodulaatio. |

- GPRS **General Packet Radio Service**, on GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu.
- FEC **Forward Error Correction**, on tiedonsiirrossa käytetty virheenkorjausmenetelmä.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä vertaillaan kapeakaistaisen lähetteen ja hajaspektrilähetteen kuuluvuutta. Insinööriyössä perehdytään molempiin lähetystekniikoihin, jonka lisäksi esitellään muutamia sovelluksia, joissa tekniikoita hyödynnetään.

Si-Tecno Oy on suomalainen elektroniikkatuotteiden suunnitteluun ja valmistamiseen erikoistunut yritys. Yrityksellä on yli 25 vuoden kokemus erilaisten elektroniikkatuotteiden suunnittelusta ja jatkuvaa tuotekehitystyötä tehdään koko ajan. Si-Tecno Oy on ollut mukana kehittämässä mm. viranomaiskäyttöön tarkoitettuja radiojärjestelmiä.

Insinööriyön toteuttamiseksi on rakennettava mittausympäristö, josta saadaan kerättyä mittadataa riittävän pitkältä ajanjaksolta, jotta vertailtavat tulokset olisivat selkeämpiä.

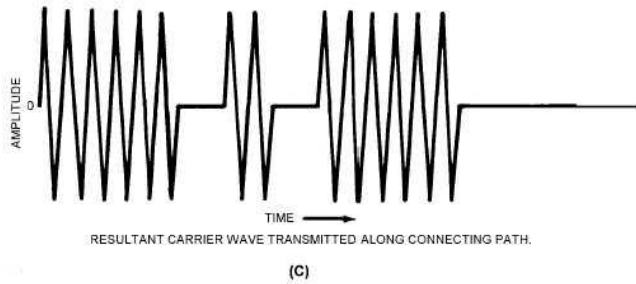
2 Lähetystekniikat

2.1 Kapeakaistainen lähete

Kapeakaistatekniikassa tietoa lähetetään ja vastaanotetaan jollakin tietyllä taajuudella. Radiosignaalin taajuus pyritään pitämään niin kapeana kuin mahdollista. Ylikuuluminen kanavien välillä vältetään koordinoimalla eri käyttäjät tarkasti eri kanavataajuuksille.

2.1.1 Päälle / Pois -modulaatio

Tämä tekniikka on lähetettävistä modulaatioista yksinkertaisin. Lyhyesti selitettynä se tarkoittaa kantoaallon kytkemistä päälle ja pois. Nykyisin tekniikkaa käytetään muun muassa tietoliikenteessä. Kuvassa 1 on esimerkki kyseisestä modulointitekniikasta.

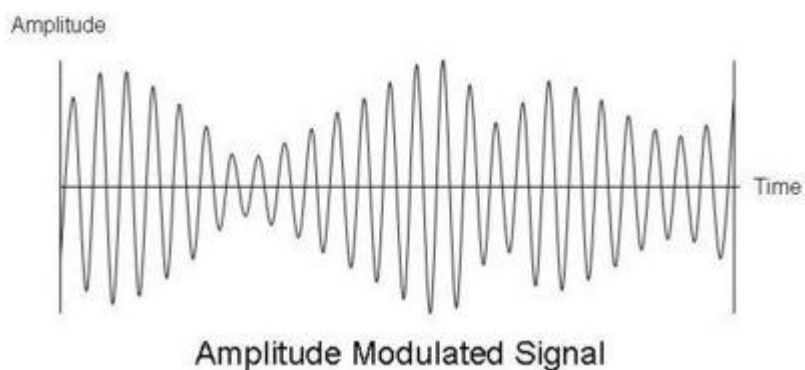


Kuva 1. Päälle- / Pois -modulaatio [7.]

2.1.2 Amplitudimodulaatio

Amplitudimodulaatio on kanta-aallon moduloitintapa, jossa informaatio siirretään amplitudin vaihteluina. Tekniikkaa käytetään edelleen esimerkiksi ilmailun radioliikenteessä ja yleisradiolähetyksien pitkien, keskipitkien ja lyhyiden aaltojen radioaaltoalueilla, mutta ei ULA-aaltojen alueella (87,5 – 108,0 MHz), jossa modulaationa käytetään taajuus- eli frekvenssimodulaatiota. Amplitudimodulaatiosta on esimerkki kuvassa 2.

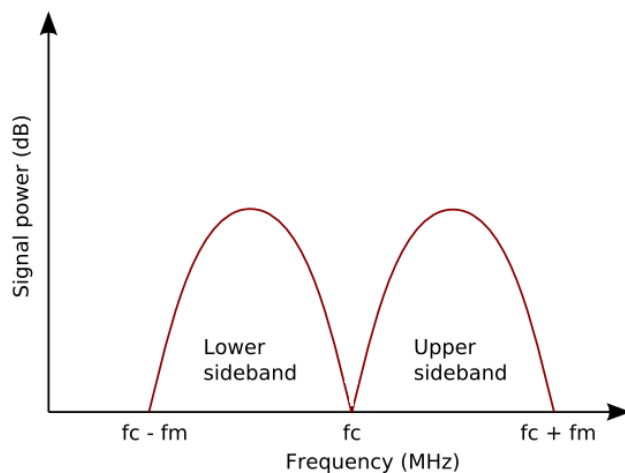
Amplitudimoduloidun signaalin spektrin kaistanleveys on kaksinkertainen moduloivan signaalin kaistanleveyteen verrattuna. Tämä on vähän verrattuna muihin yleisradiotoiminnassa käytettyihin moduloitintekniikoihin. Tämän vuoksi amplitudimodulaatio on todella käyttökelpoinen matalammilla taajuuksilla. [1.]



Kuva 2. Amplitudimodulaatio [8.]

2.1.3 Kaksisivukaista- ja yksisivukaistalähete

Kaksisivukaistalähete on amplitudimodulaatiota, josta on poistettu kantaalto. Tämän seurauksena kantaaltojen vihellyshäiriöt poistuvat. Kaksisivukaistalähete vie yhtä paljon kaistanleveyttä kuin amplitudimodulaatio, eikä se juurikaan ole kovin käytetty lähetemuoto. Kuvassa 3 on esimerkki kaksisivukaistaläheteestä. Läheteestä saadaan muokattua yksisivukaistalähete poistamalla siitä joko alempi sivukaista tai ylempi sivukaista.



Kuva 3. Kaksisivukaistalähete [10.]

SSB eli yksisivukaistalähete saadaan aikaiseksi, kun DSB:stä poistetaan vielä ylimääräinen sivukaista. Yksisivukaistaläheteellä on kaksi alalajia:

- USB (Upper Side Band)
- LSB (Lower Side Band).

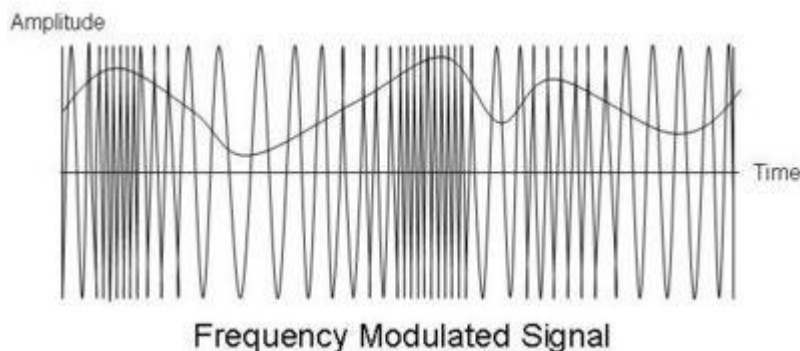
Alalajit määräytyvät sen mukaan, kumpi sivukaista suodatetaan pois ja kumpi jätetään. Lähetyksen koko teho on yhdellä sivukaistalla, ja sen hyötyteho on noussut amplitudimodulaatioon verrattuna nelinkertaiseksi. Lähetteen kaistanleveys on täsmälleen suurimman pientaajuuskaistan levyinen. Yksisivukaistalähete vaatii vakaan taajuuden, ettei lähete mene lukukelvottomaksi. [1.]

2.1.4 Taajuusmodulaatio

Taajuusmodulaatiossa viesti välitetään muuttelemalla kanta-aallon taajuutta amplitudin pysyessä vakiona. Signaalin hetkellinen taajuuspoikkeama analogisissa sovelluksissa on suorassa suhteessa moduloivan signaalin hetkelliseen amplitudiin.

Taajuusmodulaatiosta on esimerkki kuvassa 4.

Taajuusmoduloituun signaaliin tarvittava kaistanleveys on suurempi kuin amplitudimodulaatiossa, mutta sietokyky kohinaa ja häiriöitä ajatellen on parempi. ULA-taajuusalueen radiolähetykset lähetetään taajuusmoduloituna. ULA-taajuusalueella (87,5 – 108 MHz) lähetettyjä lähetyksiä kutsutaan niille tyypillisen taajuusmoduloinnin takia myös FM-lähetyksiksi.



Kuva 4. Taajuusmodulaatio [9.]

2.1.5 Taajuus- ja vaiheavainnus

Taajuusavainnus tarkoittaa tilojen vaihtelua kahden eri arvon (0 ja 1) välillä. Kahta taajuutta lähetetään tietyssä taajuuserossa eli siirtymässä. Yksinkertaisesti selitettynä taajuusavainnus tarkoittaa sitä, että digitaalisen tiedon ykköset vastaavat yhdellä taajuudella lähetettävää pulssia ja nollat vastaavat toisella taajuudella lähetettävää

pulssia. Taajuusavainnus voidaan lähettää joko puhtaana tai kahtena taajuutena, jotka ovat moduloituna tyypillisesti yksisivukaistalähetteeseen.

Vaiheavainnuksessa moduloiva signaali muuttaa kantoaallon vaihetta suoraan ja hetkellinen vaihe kertoo viestin arvon. Digitaalisessa vaihemoduloinnissa on määriteltävä, mitä vaihetta käytetään millekin binäärisen symbolin arvolle. Lähetin ja vastaanotin on synkronoitava vaihemoduloinnissa. Vaiheavainnuksen alalajeja ovat:

- BPSK (2 vaihe-eroa)
- QPSK (4 vaihe-eroa)
- 8PSK (8 vaihe-eroa).

2.1.6 GMSK

GMSK-modulaatiossa vaihe- ja taajuusmodulaatio yhdistetään. Tekniikka on digitaalisen tiedon modulointiin suunniteltu FSK-tyyppinen menetelmä. Tekniikkassa pyritään hyödyntämään todella kapeaa taajuusaluetta, jolloin sitä voidaan käyttää digitaalisten radiosignaalien koodaamisessa. GMSK:ta käytetään digitaalisen datan ja puheen siirtämiseen esimerkiksi GSM-järjestelmässä (GPRS).

Tässä modulointitekniikassa siirrettävän datan bittivirta muunnetaan sakara-aaltosignaalien vaihe-eroiksi ja tämä sakara-aaltosignaali suodatetaan sopivan levyisen Gaussin funktion mukaan pyöristetyiksi pulsseiksi. GMSK-signaali muodostetaan pyöristetystä pulssista taajuusmodulaatiolla. [12.]

2.2 Hajaspektritekniikka

Hajaspektritekniikkaa käytetään useimmissa langattomissa lähiverkoissa. Hajaspektritekniikan yhteydessä käytetään yleensä lisenssivapaata 2,4 GHz:n taajuuskaistaa, joka tunnetaan myös nimellä ISM-kaista (Industrial, Scientific and Medical). Hajaspektritekniikka on alun perin kehitetty sotilaskäyttöön turvallisten ja luotettavien yhteyksien aikaansaamiseksi. Näihin tavoitteisiin päästään tehokkaan kaistankäytön avulla.

Hajaspektritekniikassa signaalia ei siirretä yhtä kiinteää lähetystaajuutta pitkin, vaan taajuusalue jaetaan joukkoon alitaajuuksia, joilla tietoa lähetetään samanaikaisesti. Signaali näkyy pelkkänä taustakohinaa muille kuin oikealle vastaanottajalle. Hajaspektritekniikoista käytetään kahta eri lähetysstandardia, taajuushyppelytekniikkaa ja suorasekvenssitekniikkaa.

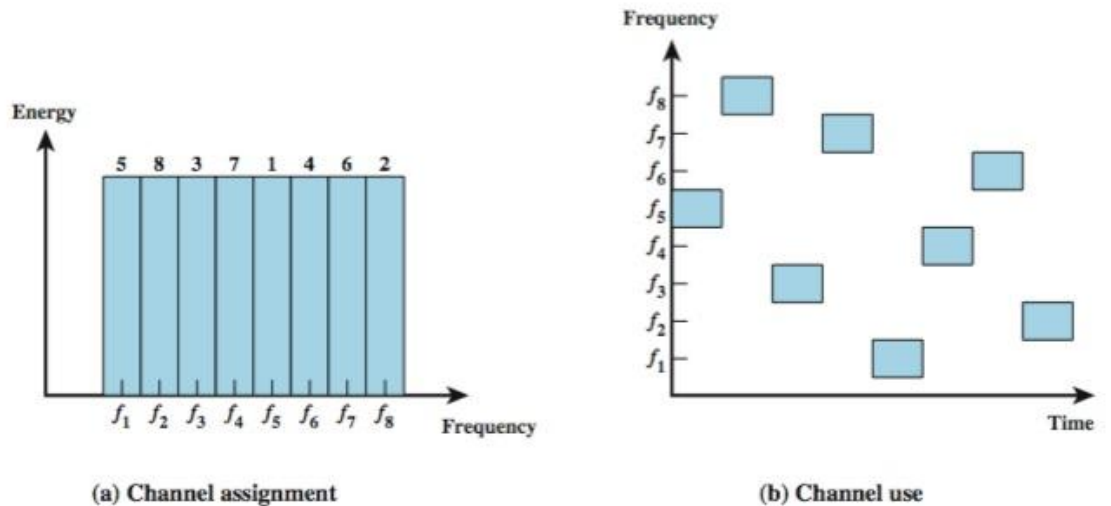
2.2.1 Taajuushyppely

Taajuushyppelyssä lähetystaajuutta muutetaan tietyn algoritmin mukaisesti. Algoritmi voi olla täysin satunnainen, mutta lähettäjän ja vastaanottajan täytyy tietää satunnaisuus tai siitä pitää etukäteen sopia.

Taajuushyppely toteutetaan jakamalla laaja taajuusalue moneksi kapeaksi kanavaksi. Siirrettävä signaali jaetaan pieniin osiin, ja osat lähetetään kerrallaan kullakin kapealla kanavalla tietyin aikaväleihin.

Koko taajuusaluetta hyödynnetään lähettämällä signaalia pitkällä aikavälillä, vaikka tietyllä ajanhetkellä taajuusalueesta käytetään vain osa. Tämän vuoksi taajuushyppelyä kutsutaan laajakaistaiseksi tekniikaksi.

Taajuushyppelyä toteutetaan joko nopealla tai hitaalla hyppelyllä. Nopeassa lähetetään yksi bitti usealla aikavälillä, ja hitaassa lähetetään useita bittejä yhdellä aikavälillä.



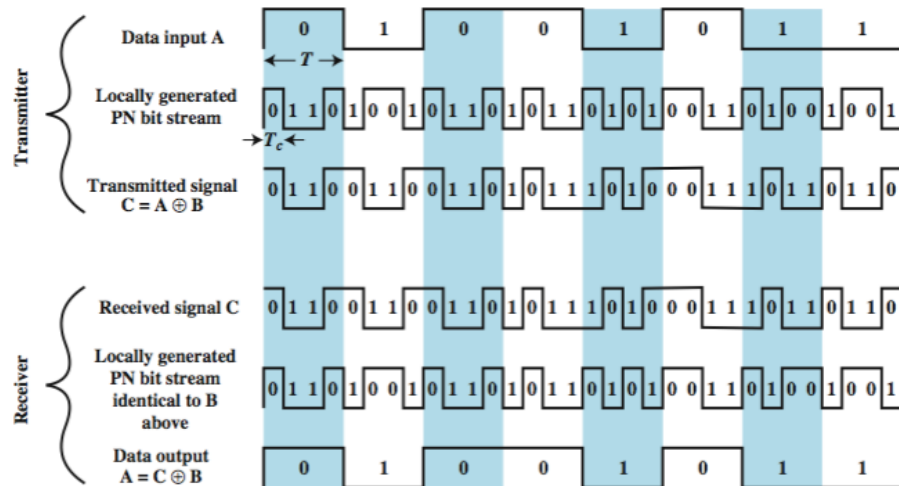
Kuva 7. Taajuushyppely [4.]

2.2.2 Suorasekventointi

Suorasekventointi on taajuushyppelyn lisäksi toinen koodijakokanavoitinta toteutettaessa käytettävistä tekniikoista. Suorasekventoinnissa lähetettävä sanoma jaetaan pieniin osiin ja lähetetään yhtenä signaalina koko taajuusalueella. Signaalien aiheuttamat häiriöt muodostuvat tällöin ongelmaksi. Ratkaisuna lähetettävä signaali sekoitetaan kohinaa muistuttavaan kanta-aaltoon.

Sekoituksessa lähetin yhdistää kaksi eri signaalia: toinen on pieninopeuksinen digitaalisesti moduloitu informaatio-signaali eli viesti ja toinen on näennäissatunnaislukugeneraattorin tuottama suurinopeuksinen bittivirta eli kohina. Kun nämä kaksi yhdistetään, saadaan signaali, jonka nopeus on nopeamman signaalin mukainen ja sisältää viestin. Vastaanotin kykenee erottamaan signaalit toisistaan, sillä se tietää satunnaisen bittivirran sekvenssin.

Suorasekventoinnin ansiosta signaalit voidaan tulkita oikein, vaikka informaatio-signaali olisi esimerkiksi 10 desibeliä pienempi kuin kohinan voimakkuus. Tekniikka mahdollistaa myös sen, että kun samaa taajuutta käytetään alueella, yhteyden laatu heikkenee hitaasti. Muun muassa GPS, WiFi ja 3G ovat tekniikkoja, joissa käytetään suorasekventointia.



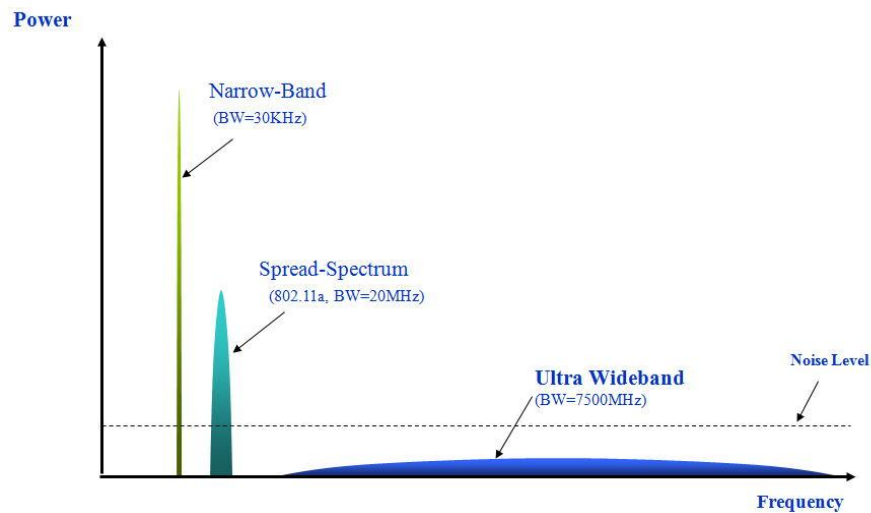
Kuva 8. Suorasekventointi. [4.]

2.2.3 Ultra Wideband (UWB)

UWB on radioteknologia, jossa informaatio lähetetään todella lyhyinä ja pienitehoisina pulsseina hyvin laajalla taajuuskaistalla (esimerkiksi 1 – 2 GHz). Pulssit eivät resonoi ympäröivien rakenteiden kanssa, mikäli ne lähetetään pseudosatunnaisin väliajoin.

UWB-tekniikan ongelmana on lähettäjän ja vastaanottajan pysyminen samassa tahdissa, eli miten vastaanottaja löytää nanosekuntien tarkkuudella pulssit, jotka lähettäjä on lähettänyt. Tekniikka on saamassa standardin (IEEE 802.15.3a).

Tekniikassa käytettävä lähetysteho on alhainen (-41,25 dBm/MHz), ja signaalin kantama on enintään 10-20 metriä bittinopeudella 110 Mb/s ja 2-4 metriä nopeudella 480 Mb/s.

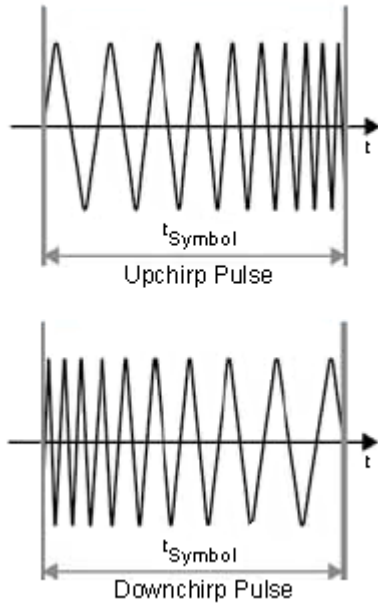


Kuva 9. Ultra Wideband

2.2.4 Viserrysmodulaatio

Viserrysmodulaatio on hajaspektrilähete, jota käytetään digitaalitekniikassa. Viserrys on sinimuotoinen signaali, jonka taajuus kasvaa tai vähenee suhteessa aikaan. CSS ei altistu Dopplerin ilmiölle, joka on yleinen ongelma radiosovelluksissa.

Viserrysmodulaatio on erinomainen ratkaisu sovelluksille, jotka vaativat vähän virtaa ja tarvitsevat alhaista tiedonsiirtonopeutta. Tulevaisuudessa viserrysmodulaatiota saatetaan myös hyödyntää sotilaallisessa käytössä, sillä sitä on todella hankala havaita ja häiritä, kun sitä käytetään pienillä virroilla. Viserrysmodulaatiota onkin jo hyödynnetty muun muassa tutkateknologiassa.



Kuva 10. Viserrysmodulaatio

3 Lähetystekniikoiden etuja / haittoja

3.1 Teoria

Kohina on radioyhteyksiä häiritsevä tekijä. Vastaanotossa heikko hyötysignaali saattaa peittyä vastaanottimessa syntyneen ja antennin vastaanottaman syntyneen kohinan alle. Signaalitehon ja kohinatehon suhde vaikuttaa ratkaisevasti radioyhteyden laatuun. Hyötysignaali voi myös olla kohinaa kuten esimerkiksi radioastronomiassa ja kaukokartoituksessa.

3.1.1 Shannon-Hartley-laki

Shannon-Hartley-laki on informaatioteorian tunnetuin kaava.

$$C = B * \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right),$$

missä C = yhteyden suurin teoreettinen siirtokyky, B = yhteyden kaistanleveys ja S/N= signaali-kohinasuhde (lukuarvona).

Kaavasta voidaan päätellä, että jos B tai S/N kasvaa, niin kapasiteetti kasvaa ja vastaavasti S/N:n ollessa pieni on myös kapasiteetti pieni. Kanavan kapasiteetille ei ole teoreettista ylärajaa, vaan signaalikohinasuhteen tai kaistanleveyden kasvaessa myös kapasiteetti kasvaa rajattomasti. Käytännössä kohina kuitenkin rajoittaa kanavan siirtonopeutta.

3.1.2 Terminen kohina

Terminen kohina on lämpötilan aiheuttamaa varauksenkuljettajien satunnaisliikettä johteessa. Lämpökohinaa syntyy resistiivisissä komponenteissa, erityisesti vastuksissa. Myös induktanssien resistiiviset ja pyörrevirtojen aiheuttamat häviöt sekä kapasitanssien resistiiviset ja dielektriset häviöt aiheuttavat hieman termistä kohinaa. Terminen kohina määrää resistiivisen komponentin pienimmän kohinatason. Lämpökohina on valkoista eli taajuudesta riippumatonta kohinaa.

3.1.3 Tiedonsiirtonopeuden ja kaistanleveyden suhde

Tiedonsiirtonopeus on suure, joka tarkoittaa tiedon siirtymisen nopeutta. Tiedonsiirtonopeus on jossain tietyssä ajassa siirretyn tiedon määrä, ja sen yksikkö on b/s eli bittiä sekunnissa.

Kaistanleveys tarkoittaa kahta eri asiaa digitaalisissa järjestelmissä. Teknisesti ajateltuna se on vastine bittinopeudelle. Bittinopeus tarkoittaa nopeutta, jolla viestiä siirretään lähettäjältä vastaanottajalle. Kaistanleveydellä kuvataan puhekielessä kanavan kapasiteettia. Kanavan kapasiteetilla tarkoitetaan nopeutta, jolla bittejä välitetään järjestelmissä.

Tiedonsiirtonopeus ja kaistanleveys ovat toisistaan riippuvaisia suureita. Mitä suurempi kaistanleveys on, sitä nopeammin tiedot siirtyvät lähettäjän ja vastaanottajan välillä.

3.2 Radiotien jakaminen

Usein kahden järjestelmän välinen kommunikointi ei vie koko siirtojärjestelmän kapasiteettia, koska siirtokapasiteettia voidaan jakaa useamman siirrettävän signaalin kesken. Tätä jakoa kutsutaan multiplexoinniksi eli kanavoinniksi. Kanavointia

käytetään esimerkiksi kuituihin, koaksiaalikaapeliin tai mikroaaltolinkkeihin perustuvissa runkoverkoissa, mutta myös radioteillä kuten muun muassa matkaviestinverkoissa. Kanavointi perustuu ns. multipleksereiden käyttöön (n syötettä yhdistetään yhdelle linjalle lähetyspäässä ja ne puretaan vastaanottopäässä).

Yhdellä linjalla voidaan käyttää useampaa kanavaa. Multipleksointi perustuu kustannustehokkuuteen. Mitä suurempi kokonaisdatanopeus on, sitä pienempi hinta on per bps. Lisäksi yksittäiset osat tarvitsevat vain osan siirtojärjestelmän kaistasta. Kanavointi voidaan jakaa seuraaviin luokkiin:

- taajuusjakokanavointi (FDM, Frequency Division Multiplexing)

- aikajakokanavointi (TDM, Time Division Multiplexing)

 - *Synkroninen

 - *Asynkroninen (tilastollinen)

- koodijakokanavointi (CDM, Code Division Multiplexing)

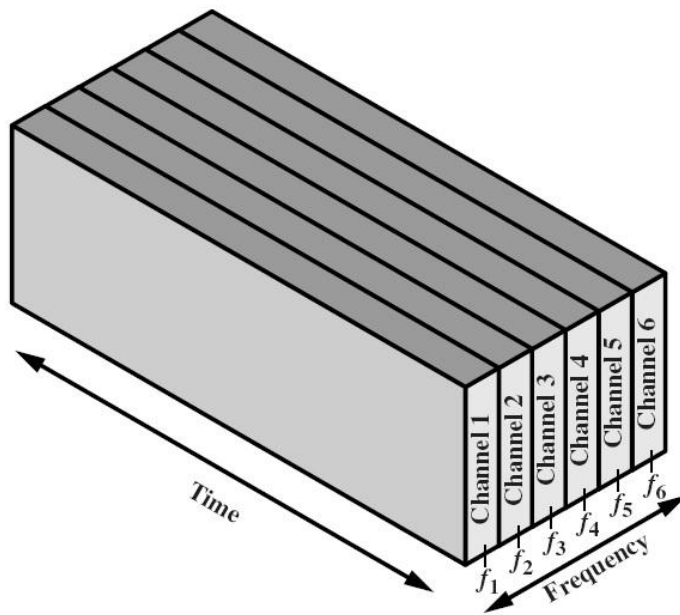
- aallonpituusjakokanavointi (WDM, Wavelength Division Multiplexing).

Tässä insinööriyössä perehdytään tarkemmin kolmeen ensimmäiseen kanavointimenetelmään.

3.2.1 Taajuusjakokanavointi

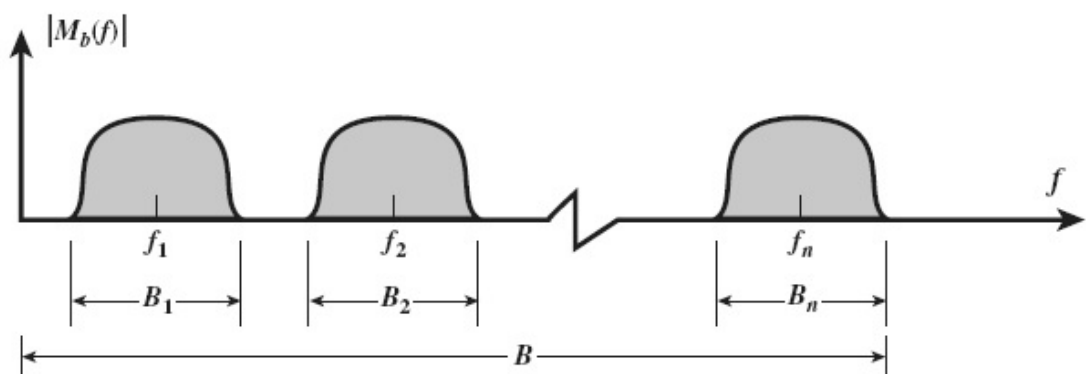
Taajuusjakokanavoinnissa jokainen signaali keskittyy omalle taajuusalueelle eli kanavalle. Tekniikka perustuu eri signaalien modulointiin eri taajuisille kantaalloille. Kanavalla tarkoitetaan kantaallon kohdalle keskittynyttä kaistanleveyttä. Kanavien välisiä häiriöitä estetään jättämällä riittävän suuri varmuusväli kanavien väliin.

Taajuusjakokanavoinnin vaatimuksena on, että siirtotien kapasiteetti ylittää siirrettävien signaalien yhteenlasketut kaistanleveysvaatimukset.



Kuva 11. Taajuusjakokanavointi [4.]

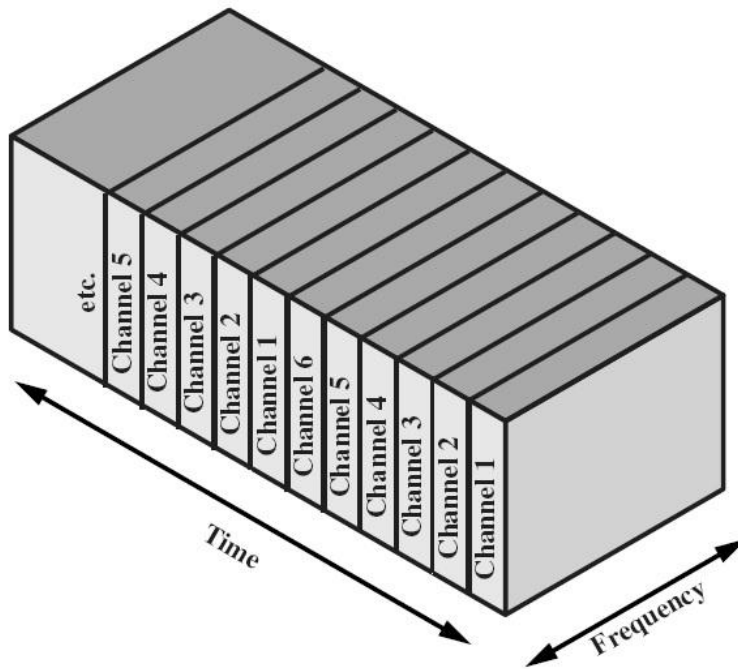
Syötettävä data voi olla joko analogista tai digitaalista ja signaali on aina analoginen. Vastaanottopäässä käytetään kaistanpäästösuodattimia, jotta saadaan erotettua oikea signaali. [4.]



Kuva 12. Taajuusjakokanavointi [4.]

3.2.2 Aikajakokanavointi

Aikajakokanavointia on käytetty esimerkiksi GSM-verkkojen radioteiden kanavanvaraustekniikana. Aikajakokanavointi perustuu signaalien viipalointiin, jossa jokainen lähetys on jaettu omiin kehyksiin ja kehyksiä lähetetään eteenpäin tietyin väliajoin. Sen avulla voidaan siirtää dataa ja ääntä. Siirrettävän tiedon kapasiteetin lisääminen on melko yksinkertaista ja taloudellista.



Kuva 13. Aikajakokanavointi [4.]

Aikajakokanavoinnin heikkouksia on se, että yhteyttä ei voida muodostaa kaikkien aikavälien ollessa käytössä. Jos uuden solun kaikki aikajaksot ovat varattuina, voi yhteys katketa myös solua vaihdettaessa. Aikajakokanavointi on haavoittuva monitie-etenemisen häiriöille. Tämän vuoksi järjestelmälle on kehitetty aikarajoitus. Aikajakokanavointi voidaan eritellä kahteen osa-alueeseen, synkroninen ja asynkroninen aikajakokanavointi.

Synkronisessa aikajakokanavoinnissa siirtotie on koko ajan käytössä. Vuonohjausta ja ohjausinformaatiota ei tarvita, mutta kahden pään välinen kehystahdistus on välttämätön. Kehystahdistuksessa jokaiseen kehykseen lisätään bitti siten, että perättäisten kehysten biteistä muodostuu bittikuvio.

Lähteet voivat nopeuttaa kommunikointiaan varaamalla itselleen useampia aikaviipaleita kehyksestä. Lähteitä, jotka toimivat eri nopeuksilla, voidaan yhdistää, kun niiden käyttöön varataan riittävä määrä aikaviipaleita.

Synkronisen aikajakokanavoinnin huonona puolena on, että kapasiteettia hukataan: jokaiselle linjalle varataan tietty aikajakso, vaikka linjalla ei olisi ollenkaan liikennettä.

Asynkronisessa aikajakokanavoinnissa siirtoteillä ei ole säännöllisiä aikavälejä, joten tarvitaan osoite kertomaan, minkä linjan dataa aikavälissä on siirrettävä. Osoite jokaisen kehyksen alussa kertoo, mille linjalle kehys kuuluu. Aikavälit jaetaan tarpeen mukaan dynaamisesti.

Asynkronisen aikajakokanavoinnin huonona puolena on, että osoitetietojen välittäminen hukkaa hieman kapasiteettia. Suurilla käyttöasteilla saattaa olla ruuhkaa, sillä yhdistävän linjan nopeus voi olla pienempi kuin sisääntulolinjojen nopeuksien summa. [2.]

3.2.3 Koodijakokanavointi

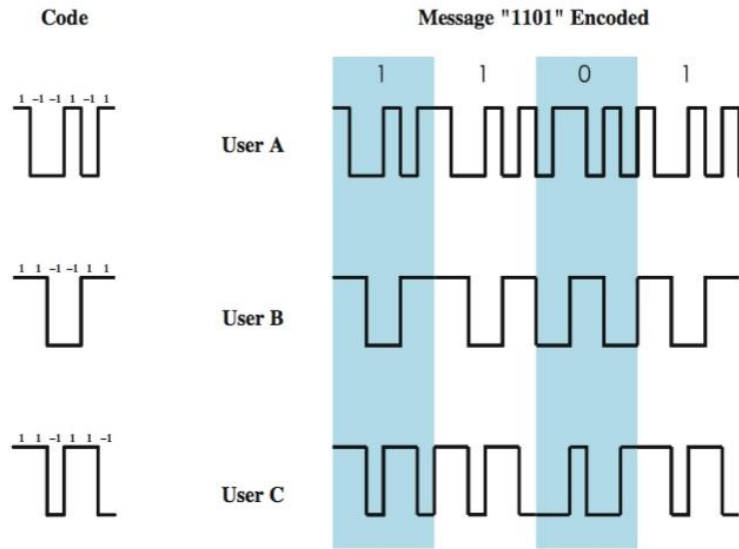
Yksi radiotien kanavanvaraustekniikoista on koodijakokanavointi eli CDM. Tekniikka on käytössä laajakaistaisissa järjestelmissä. Koodijakokanavoinnissa kaikki käyttäjät voivat hyödyntää koko saatavilla olevaa taajuuskaistaa sekä lähetyksessä että vastaanotossa. Yksilöllinen koodi erottaa käyttäjät toisistaan. Lähettäjän signaaliin sisältyy vastaanottajan koodi, joten vain koodin tunteva asema voi ottaa sen vastaan. Koodeja on olemassa miljardeja, jonka ansiosta tietoturva paranee. Esimerkiksi puhelimen kloonaaminen on vaikeampaa. Useiden koodien ansiosta monet käyttäjät voivat toimia yhtäaikaisesti samalla taajuusalueella ilman, että he häiritsevät liikaa toistensa lähetyksiä.

Alun perin koodijakokanavointi kehitettiin sotilassovelluksia varten. Sen avulla yritettiin piilottaa signaalia (estää salakuuntelua), saamaan lähetys sietämään kohinaa ja saamaan vastustuskyky tahallista signaalin häirintää vastaan.

Koodijakokanavointi voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen:

- taajuushyppely (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)

- suorasekventointi (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS). [2.]



Kuva 14. Koodijakokanavointi

3.3 Häiriönsieto

RF-häiriöt ovat sähkömagneettisen säteilyn tai induktion aiheuttamia häiriöitä elektronisissa laitteissa tai sovelluksissa. Häiriön lähteenä voi toimia mikä tahansa korkeataajuuksisia sähkövirtoja tai jännitteitä sisältävä laite, sekä eräät taivaankappaleet ja luonnonilmiöt, kuten aurinko ja revontulet. Häiriönsieto riippuu modulointitekniikasta. Tässä insinööriyössä käsitellään radiotaajuisia vastaanottimeen tulevia häiriöitä, kuten esimerkiksi muita samaa taajuutta hyödyntäviä radiojärjestelmiä. [3.]

3.3.1 Mittaluvut

BER

Digitaalisessa tiedonsiirrossa voi toisinaan esiintyä esimerkiksi niin suuri jännitepiikki, että jokin bitti "kääntyy ympäri" eli toisin sanoen 0 muuttuu 1:ksi ja toisin päin. Tällöin

on kyse bittivirheestä. Digitaalisen signaalin laatua voidaan mitata bittivirhesuhteella (Bit Error Rate). Luvulla kuvataan virheellisten bittien määrää verrattuna johonkin referenssimäärään. Esimerkiksi $BER = 5 \cdot 10^{-6}$ tarkoittaa, että viisi bittiä miljoonasta on virheellisiä. Mitä pienempi bittivirhesuhde on, sitä parempi signaali on kyseessä. [11.]

PER

Pakettivirhesuhde on virheellisesti vastaanotettujen datapakettien määrä jaettuna onnistuneesti vastaanotettujen pakettien määrällä. Virheitä voidaan korjata joko etukäteen lisäämällä ylimääräistä dataa (FEC) tai jälkikäteen tunnistamalla virheet ja lähettämällä viesti uudestaan. Odotusarvolla (PER) merkitään paketin virheen todennäköisyyttä. Jos datapaketin pituus on N bittiä, voidaan pakettivirhesuhde ilmaista , mikäli bittivirheet ovat toisistaan riippumattomia. [11.]

3.3.2 Häiriötyypit

Häiriöt ovat jaettavissa kapeakaistaisiin ja laajakaistaisiin häiriöihin, sekä luokiteltavissa impulssimuotoisiin ja jatkuviin häiriöihin. Digitaaliset järjestelmät ovat herkkiä voimakkaille impulssimuotoisille häiriöille, transienteille. Analogiset järjestelmät ovat alttiita jatkuville tasaisille häiriöille.

Kapeakaistaisia häiriöitä aiheuttavat langaton puhelinliikenne sekä televisio- ja radiolähetykset. Tällaisissa tapauksissa häiriöiden taajuudet ovat keskittyneet todella kapealle kaistalle. Hakkuriteholähteet, auringon häiriöt ja digitaalijärjestelmien transientit aiheuttavat laajakaistaisia häiriöitä. Tällaiset lähteet tuottavat häiriöitä eri taajuusalueilla, jonka takia niitä voi olla erittäin vaikea saada poistettua häiriintyvän järjestelmän signaaleista.

Häiriöitä esiintyy enemmän vanhemmassa radiotekniikassa, kuten esimerkiksi analogisessa amplitudimodulaatiossa. Siinä ei ole minkäänlaista keinoa erottaa häiriösignaaleja halutusta signaalista. Nykyaikaisemmissa järjestelmissä on lukuisia parannuksia, jotka lisäävät valikoivuutta, eli vastaanottimen kykyä vastaanottaa vain ne signaalit, joille radio on viritetty. Samalla ne hylkivät asetetun taajuuden lähellä olevia muita taajuuksia. Virheenkoraustekniikoita pystytään käyttämään digitaalisissa radiojärjestelmissä. FHSS- ja hajaspektritekniikoita voidaan käyttää sekä digitaaliseen että analogiseen signaaliin lisäämään häiriönsietoa.

Lähes jokaisesta kotona olevista laitteista löytyy elektroniikkapiirejä, jotka ovat monimutkaisia. Modernit sulautetut järjestelmät, esimerkiksi pesukoneet, jääkaapit ja mikroaaltouunit, saattavat sisältää todella paljon erilaista teho- ja hienoelektroniikkaa, jotka voivat sekä vastaanottaa että lähettää häiriöitä. Esimerkiksi kaapelitelevisio on potentiaalinen RF-häiriöiden ja elektromagneettisen interferenssin lähde. Muita mahdollisia häiriön lähteitä ovat esimerkiksi sähköpeitot, lämpötyyny, ovikellot, leivänpaahdit ja energiansäästölamput.

2,4 GHz:n taajuutta hyödyntävät laitteet ovat tänä päivänä hyvin yleisiä. Monet Bluetooth-laitteet, Wlan-verkot 802.11b ja 802.11g, langattomat kotipuhelimet, itkuhälyttimet sekä mikroaaltouunit toimivat 2,4 GHz:n taajuudella, ja tällaiset laitteet saattavat häiritä toistensa toimintaa. Lamput, virtalähteet ja sähkömoottorien taajuusmuutajien käytöt aiheuttavat kaikki elektromagneettista häiriötä etenkin toimiessaan suurilla virroilla.

Voimakkaita ja laajakaistaisia häiriöitä aiheuttavat erityisesti hakkuriteholähteet. Hakkureiden aiheuttamat häiriöt esiintyvät pääsääntöisesti pistemäisillä taajuuksilla. Lisäksi lisenssivapaan ISM-kaistan radioliikenteestä saattaa tulla häiriöitä, jotka haittaavat signaalin etenemistä. [3.]

4 Radiosignaalin eteneminen sisätiloissa

4.1 Vapaat ISM-taajuudet

ISM-taajuusalueet käsittävät maailmanlaajuisen radiotaajuuskaistan, jonka käyttäminen ei vaadi erillistä lupaa, ja se on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön.

ISM-kaistoja on kolme, SHF-alueella 5,725-5,850 GHz ja UHF-alueella 902 MHz-928 MHz ja 2,4000-2,4835 GHz. Muutamissa maissa kaikki ISM-taajuudet eivät ole sallittuja. Suomessa on käytössä ITU Region 1, joka kattaa taajuudet 433 – 434 MHz ja 868 MHz.

Lisenssivapauden takia ISM-alueita käytetään paljon myös langattomassa tietoliikenteessä. Tällöin laitteiden on selvitettävä muiden samalla taajuudella toimivien

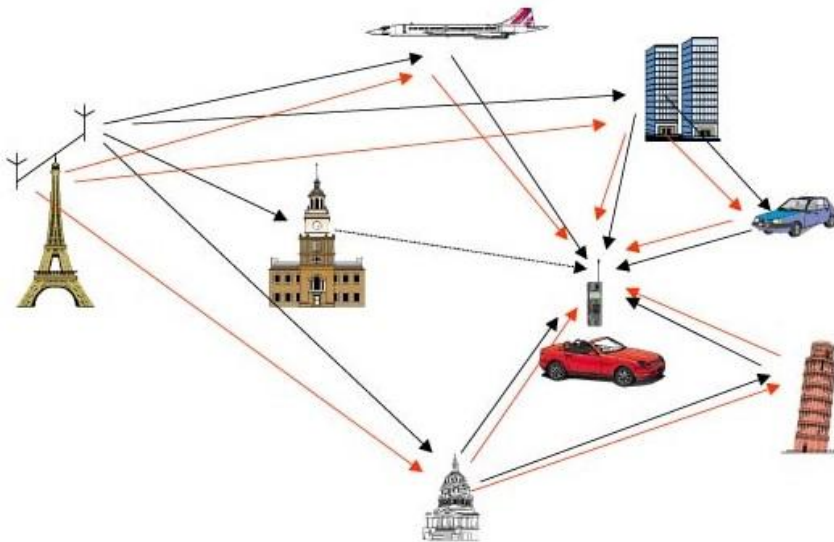
laitteiden aiheuttamista häiriöistä. Tyypillisimpiä ISM-kaistalla toimivia lyhyen kantaman tietoliikennelaitteita ovat esimerkiksi WLAN- ja Bluetooth-laitteet. Nimestään huolimatta ISM-kaistaa hyödynnetään myös kotitalouksien tietoliikenteessä ja elektroniikassa. ISM-taajuusalueen haittapuolena on koko ajan kasvava käyttäjien määrä.

4.2 Monitie-eteneminen

Monitie-eteneminen aiheutuu rakennusten, maastokohteiden, esineiden, veden, vuorien, näköesteiden tms. heijastuksista, sironnasta ja diffraktiosta. Monitie-etenemisestä aiheutuu seuraavia ongelmia:

- Heijastuva signaali tulee perille ”väärään aikaan”.
- Signaalit menettävät osan energiastaan heijastuksen yhteydessä.
- Heijastumat summautuvat toisiinsa ja vaikeuttavat signaalien tulkitsemista vastaanottopäässä.

Esimerkiksi rakennuksissa esiintyy runsaasti monitie-etenemistä. [6.]



Kuva 15. Monitie-eteneminen [6.]

4.3 Rakenteiden vaikutus

Radiosignaalien kuuluvuusongelmien lisääntymisen syitä ovat uudet RF-kenttiä vaimentavat, metallia sisältävät rakenteet. Levy-, kalvo- ja verkkomaisia rakenteita saatetaan käyttää jo lähes kaikissa rakennuksen julkisivun osissa; eristeissä, rappauksissa, betonissa, katteissa, ikkunoiden lasituksissa ja kehissä.

Tyhjiössä säteily etenee vaimennuksesta. Ilma itsessään aiheuttaa radiosignaaliin osittaista vaimennusta. Esimerkiksi lautaverhoillun, puurunkoisen ja tavanomaisesti mineraalivillaeristetyn rakennuksen vaippa ei yleensä aiheuta ongelmia rakennusten radiokuuluvuuteen.

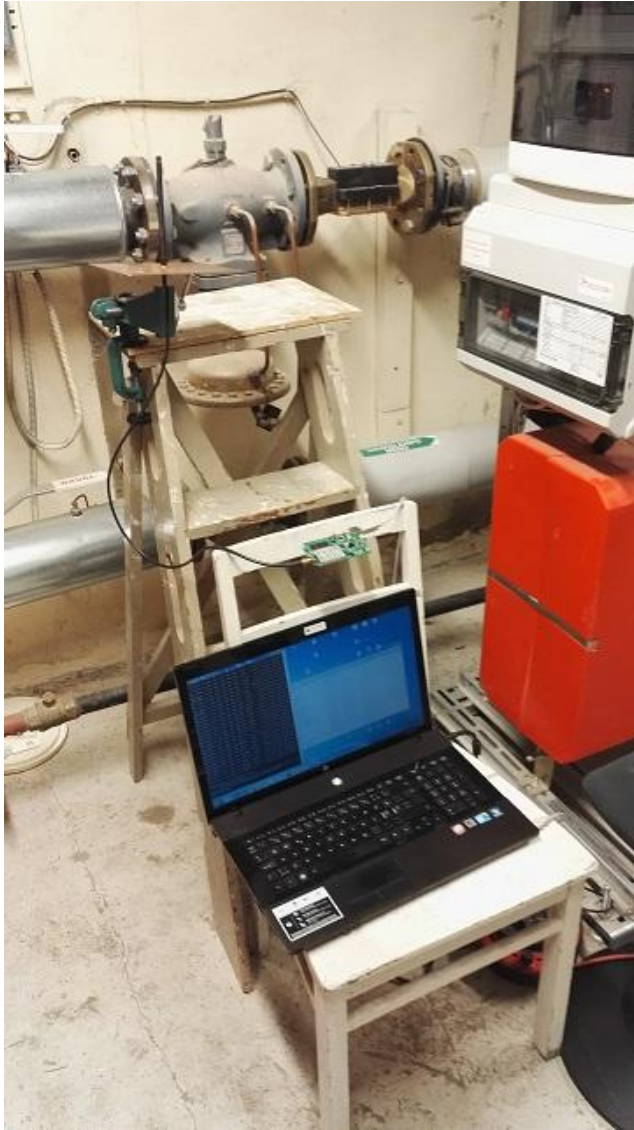
Ennen betonisandwich-tekniikan yleistymistä 1960-luvulla asuinkerrostalojen julkisivut olivat useimmiten massiivitiiliseiniä, jotka eivät sisältäneet metallirakenteita. Todella paksu tiiliseinä vaimentaa radioaaltoja vähemmän kuin raudoitetut betonirakenteet. [5.]

5 Kuuluvuuksien vertailu

Osa mittauksista suoritettiin kahdessa eri kerrostalokohteessa. Ajatuksena oli tutkia rakenteiden vaikutusta hajaspektrilähetteen kuuluvuuteen, jonka vuoksi valittiin kaksi selvästi eri ajankohtana rakennettua kiinteistöä.

Ensimmäinen mittauskohde oli neljästä erillisestä rappukäytävästä koostuva kiinteistö. Jokaisessa rappukäytävässä on kahdeksan kerrosta, ja kiinteistössä on yhteensä 206 asuntoa. Kiinteistö on rakennettu vuonna 2012.

Toinen mittauskohde oli neljästä erillisestä rakennuksesta koostuva kiinteistö. Jokaisessa rakennuksessa on kuusi kerrosta, ja kiinteistössä on yhteensä noin 180 asuntoa. Kiinteistö on rakennettu vuonna 1954.



Kuva 16. Kiinteistön lämmönjakuhuoneessa oleva mittauskoonpano.

Hajaspektrilähete

Hajaspektrilähetteen kuuluvuutta mitattiin erillisellä mittauskoonpanolla. Koonpano koostui kannettavasta tietokoneesta, mittadataa lähettävästä anturista ja tietokoneeseen liitettävästä vastaanottimesta ja antennista.

Kannettava tietokone, vastaanotin ja antenni asetettiin kiinteistön lämmönjakuhuoneeseen, jonka jälkeen lähdettiin kiertämään kiinteistön tiloja mittadataa lähettävän anturin kanssa. Mittadata kerättiin vastaanottimen kautta kannettavalle tietokoneelle.

Ensimmäinen mittaus-toimenpide aloitettiin lämmönjakohuoneesta, jonka jälkeen käveltiin rappukäytävä kerrallaan ensimmäisestä kerroksesta ylimpään kerrokseen. Ylimmästä kerroksesta tultiin takaisin alakertaan hissillä. Kiinteistössä tehtiin kaksi mittauskertaa samalta kävelyreitiltä.

Toinen mittaus-toimenpide aloitettiin lämmönjakohuoneesta, jonka jälkeen käveltiin rakennus kerrallaan läpi. Rakennuksissa käveltiin portaita pitkin aina ullakolle asti rappukäytävä kerrallaan, jonka jälkeen palattiin samaa reittiä takaisin. Kiinteistössä suoritettiin yksi mittauskerta.

Kapeakaistainen lähete

Kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuutta mitattiin erillisellä mittauskokoontamalla. Kokoontama koostui huoneistoissa olevista antureista ja anturisignaalin vastaanottimesta. Ensimmäisessä kohteessa vastaanotin sijoitettiin huoneistojen alla olevaan kellarikäytävään. Toisessa kohteessa vastaanotin sijoitettiin rappukäytävään neljänteen kerrokseen. Mittaus kesti molemmissa kohteissa kaksi tuntia, jonka jälkeen saatiin selville vastaanottimen kuulemat anturit.

5.1 Mittausympäristön rakentaminen

Lisäksi haluttiin tutkia anturin sijainnin vaikutusta signaalin voimakkuuteen. Tätä varten oli rakennettava mittauslaitteisto, jossa anturin sijaintia saatiin muutettua. Laitteisto rakennettiin työpaikalleni Si-Tecno Oy:n tiloihin.

Mittauskokoontamoon kuului kaksi askelmoottoria, kaksi askelmoottoreiden ajuria, virtalähde, Raspberry Pi B+ -tietokone, mittadataa lähettävä anturi ja vastaanotin. Mittadata kerättiin suoraan kannettavalle tietokoneelle.

Askelmoottorit kiinnitettiin lautaan kahden metrin etäisyydelle toisistaan. Askelmoottoreiden ajurit kiinnitettiin moottorien viereen. Askelmoottoreiden akseleihin tehtiin 20 millimetrin halkaisijalla olevat muovirullat. Muovirulliin kiinnitettiin 240 senttimetriä pitkät siimat, ja siimat sidottiin alapäistä yhteen. Tämän jälkeen lauta nostettiin seinälle lähelle katon rajaa. Siimojen solmukohtaan kiinnitettiin mittadataa lähettävä anturi.



Kuva 17. Anturin sijainnin vaikutuksen mittaamiseen tehty kokoonpano.

Askelmoottoreiden ohjaukseen valittiin Raspberry Pi B+ -tietokone. Raspberrissä on runsaasti GPIO-pinnejä, joiden ansiosta ohjaussignaalien toimittaminen ajureille onnistui melko yksinkertaisesti. Raspberrystä ohjattiin koodilla, joka tehtiin Python-ohjelmointikielellä.

Python-ohjelmalla saatiin ajettua anturia 10 x 10 ruudun koordinaatistossa. Siirtymiksi asetettiin 100 millimetriä. Lähtötilanteessa etäisyys moottoreista korkeussuunnassa oli 1000 millimetriä. Anturia siirrettiin sivuttaissuunnassa ylimmällä rivillä yhdeksän kertaa. Siirtymien välissä anturia pidettiin paikallaan tietyn aikaa, jotta sen kuuluvuus saatiin mitattua. Kun anturia oli siirretty yhdeksän kertaa, siirrettiin se takaisin reunaan, josta lähdettiin liikkeelle, mutta 10 millimetriä alemmalle riville. Tämän jälkeen siirtymäruutiini suoritettiin jälleen uudelleen. Siirtymää toistettiin niin kauan, kunnes päästiin anturin



Kuva 19. Kellaritiloihin viety mittauslaitteisto.

5.1.2 Kapeakaistainen lähete

Kapeakaistaisen lähetteen mittauskokoontalon anturi kiinnitettiin siimojen solmukohtaan. Vastaanotin ja kannettava tietokone vietiin kollegan työhuoneeseen noin viiden metrin päähän anturista. Ohjelmakoodiin jouduttiin muuttamaan aikaa, jolloin anturi on pysähdyksissä, sillä anturin lähetysväliä ei saanut minuuttia lyhyemmäksi. Pysähtymisen ajaksi valittiin kaksi minuuttia.

6 Tulosten tarkastelu

6.1 Hajaspektrilähetteen kuuluvuus

Ensimmäisessä kiinteistössä hajaspektrilähetteen kantama kattoi lähes kaikki neljä erillistä rappukäytävää. Signaali heikkeni merkittävästi ainoastaan hisseissä ja rappukäytävien ylimmissä kerroksissa.

Toisessa kiinteistössä hajaspektrilähetteen kantama kattoi kaikki neljä kerrostaloa lukuunottamatta kauimpana olevan kerrostalon kellarikäytävää ja kahden muun talon ullakkoja. Signaalinvoimakkuus pysyi melko hyvänä koko mittauksen ajan, eikä suurempia eroja vaimennuksissa syntynyt.

Mittaustulosten mukaan anturin sijainnilla ei näyttäisi olevan kovin suurta vaikutusta hajaspektrilähetteen kuuluvuuteen. Signaalinvoimakkuudessa ei ollut merkittäviä eroja ja kaikki anturin lähettämät paketit saapuivat ehjinä vastaanottimelle. Kiinteistöissä suoritettujen mittauksien tulokset ovat liitteissä 1 ja 2. Anturin sijaintiin perustuvat mittaustulokset ovat liitteessä 5.

6.2 Kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuus

Ensimmäisessä kiinteistössä kapeakaistaisen lähetteen kantama riitti kattamaan lähes koko rappukäytävän. Ylimmän kerroksen asunnot ja kahden alemman kerroksen asunnot jäivät kuuluvuusalueen ulkopuolelle.

Toisessa kiinteistössä kapeakaistalähetteen kantama kattoi yhden kerrostalon lukuunottamatta talon päädyissä olevia asuntoja. Lisäksi toisesta päädyistä myös osa yläkerran asunnoista jäi kuuluvuusalueen ulkopuolelle.

Myöskään kapeakaistalähettettä lähettävän anturin sijainnilla ei mittaustulosten mukaan ollut merkittävää vaikutusta kuuluvuuteen. Signaalinvoimakkuuksissa oli kylläkin eroja, mutta erot eivät olleet kovin suuria. Kiinteistöissä suoritettujen mittauksien tulokset ovat liitteissä 3 ja 4. Anturin sijaintiin perustuvat mittaustulokset ovat liitteessä 6.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli vertailla hajaspektrilähetteen ja kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuutta. Työssä suoritettujen mittausten perusteella voidaan todeta, että hajaspektrilähetteen kantama on huomattavasti parempi kuin kapeakaistaisen lähetteen kantama. Kapeakaistaisen lähetteen signaali riitti peittämään ainoastaan pienen osan kiinteistöistä, kun vastaavasti hajaspektrilähete signaali kattoi lähes kokonaisen kiinteistön.

Ensimmäisessä kerrostalokiinteistössä lämmönjakohuoneeseen sijoitettu vastaanottimen antenni oli hieman kallellaan hajaspektrilähetteen kuuluvuusmittauksia tehtäessä. Paremmiin aseteltu antenni olisi mitä todennäköisemmin antanut parempia signaalien voimakkuuksia. Anturin sijainnin merkitystä olisi voinut tutkia lyhyemmällä siirtymäväleillä, sillä 100 millimetrin siirtymillä ei syntynyt merkittäviä eroja signaalien voimakkuuksissa.

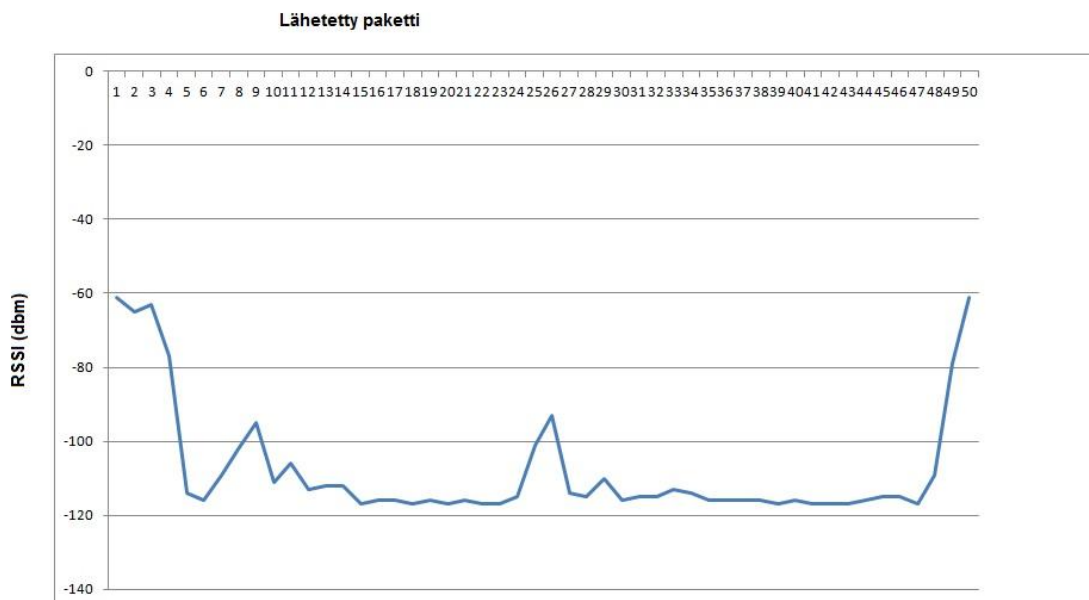
Sain insinööriyötä tehdessäni paljon uutta tietoa radiotekniikoista ja radiotekniikkaa hyödyntävistä sovelluksista. Insinööriyötä varten rakennettu mittausympäristö jätetään tilaajayrityksen käytettäväksi tulevaisuudessa tehtäviä mittauksia varten.

Lähteet

- 1 Räsänen, Antti & Lehto, Arto: Radiotekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto Oy, 2011.
- 2 Granlund, Kaj: Tietoliikenne. WSOY, 2007.
- 3 Teknillinen korkeakoulu, Mittaustekniikan laboratorio: Häiriöt mittauksissa <metrology.hut.fi/courses/S-108.3020/hairmit.pdf>. Luettu 19.03.2016
- 4 Tietoliikennetekniikan perusteet, Lappeenrannan ammattikorkeakoulu <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/ct30a2002/luennot/luento4_1.pdf>. Luettu 19.03.2016
- 5 Suunnitteluohje, Matkapuhelimien kuuluvuus sisätiloissa <http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/suunnitteluohje_matkapuhelimien_kuuluvuus.pdf>. Luettu 24.03.2016
- 6 Tietoliikennetekniikan perusteet, Lappeenrannan ammattikorkeakoulu <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/ct30a2003/.../luento3_2b.pdf>. Luettu 29.03.2016
- 7 Päälle- / Pois-modulaatio kuva <<http://electriciantraining.tpub.com/14184/css/Figure-1-22A-Essential-Elements-Of-On-Off-Keying-40.htm>>.
- 8 Amplitudimodulaatio kuva <http://www.hill2dot0.com/wiki/index.php?title=Amplitude_modulation>.
- 9 Taajuusmodulaatio kuva <http://www.hill2dot0.com/wiki/index.php?title=Frequency_modulation>.
- 10 Kaksisivukaistälähete kuva <<https://en.wikipedia.org/wiki/Sideband>>.
- 11 Bit error rate, Wikipedia-artikkeli <https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_error_rate>. Luettu 29.03.2016
- 12 GMSK, Wikipedia-artikkeli <<https://fi.wikipedia.org/wiki/GMSK>>. Luettu 03.04.2016

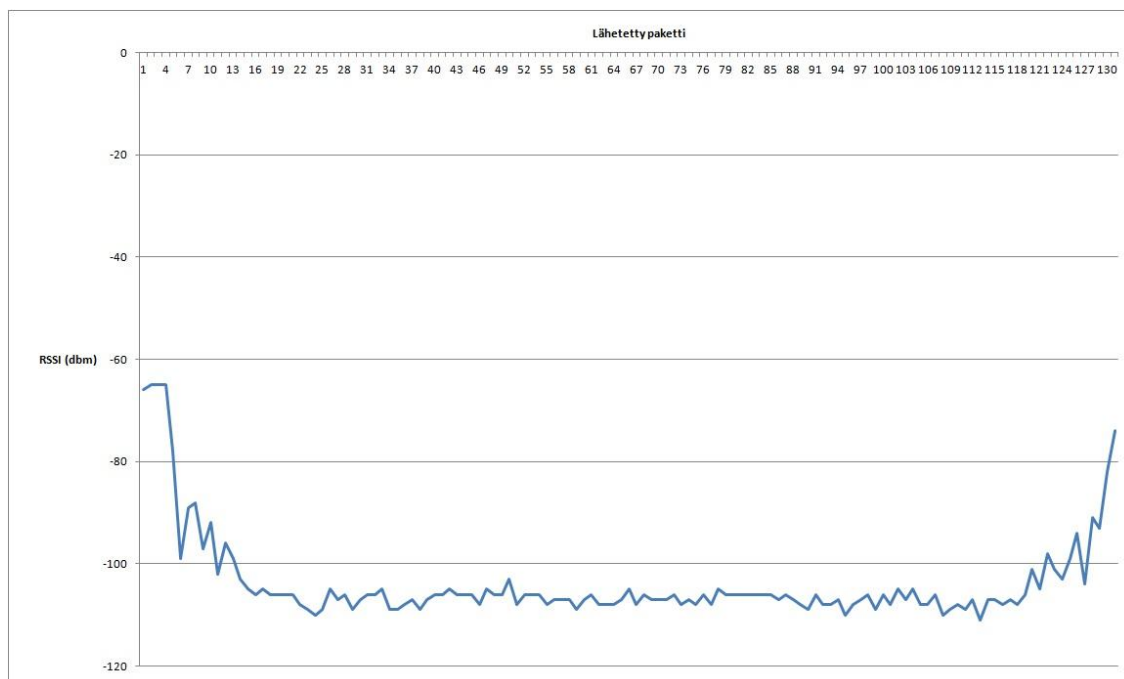
Hajaspektrilähetteen kuuluvuus ensimmäisessä kiinteistössä

Alla on kuvaaja ensimmäisen kiinteistön kuuluvuudesta. X-akseli kuvaa lähetettyä dataa ja Y-akselilla on signaalin voimakkuus.



Hajaspektrilähetteen kuuluvuus toisessa kiinteistössä

Alla on kuvaaja toisen kiinteistön kuuluvuudesta. X-akseli kuvaa lähetettyä dataa ja Y-akselilla on signaalin voimakkuus.



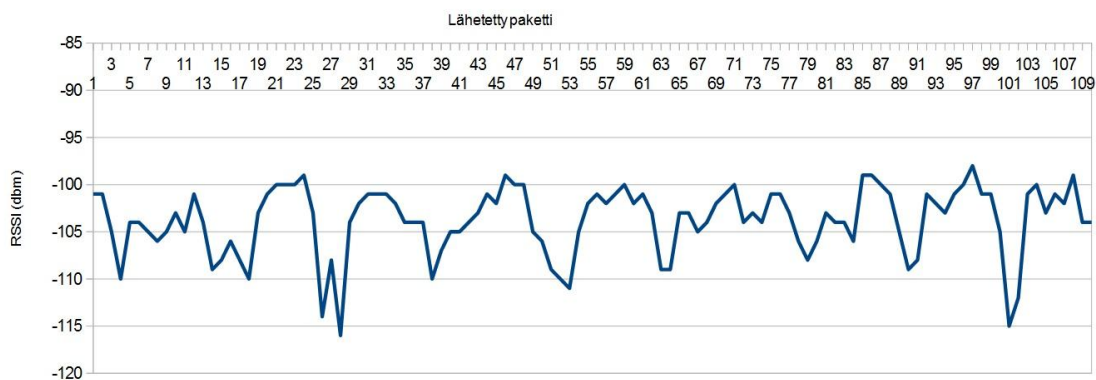
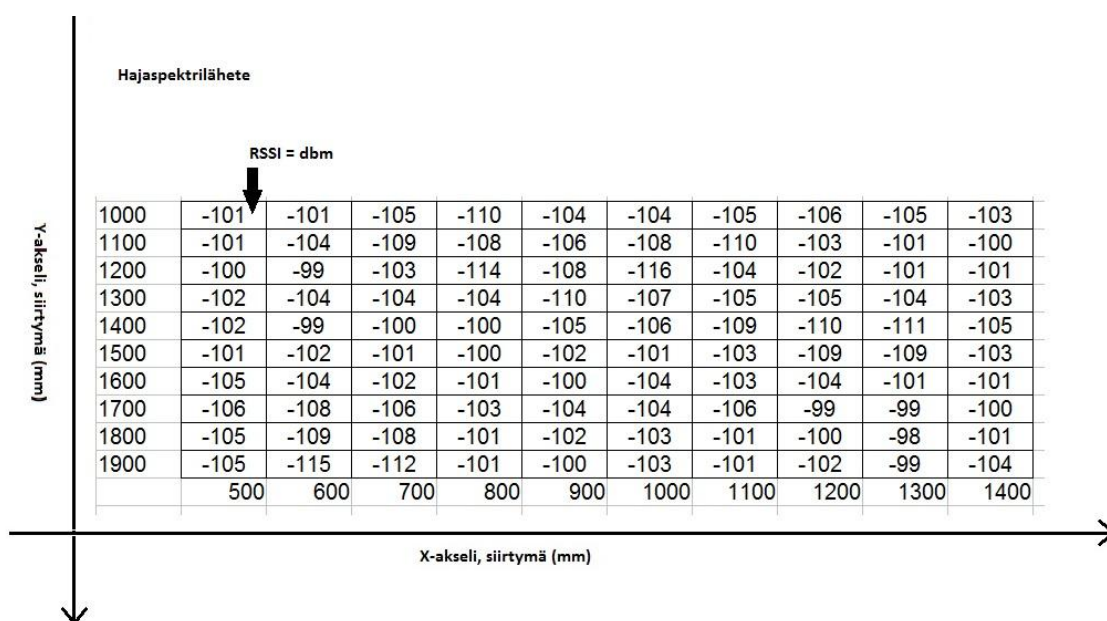
Kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuus ensimmäisessä kiinteistössä

Sinisellä pohjalla merkityt asunnot ovat niitä, joista kapeakaistaisen lähetteen kantama riitti neljännessä kerroksessa olevalle vastaanottimelle. Vastaanotin on merkitty oranssilla pohjalla olevaan soluun.

| | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|---------|-----|-----|-----|
| Kerros | | | | | | |
| 8 | 123 | 124 | | | | |
| 7 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 |
| 6 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 |
| 5 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 |
| 4 | 99 | 100 | 101 (R) | 102 | 103 | 104 |
| 3 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 |
| | 97 | 98 | | | | |
| 2 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 |
| | 89 | 90 | | | | |
| 1 | | | | | | |
| (R) = Vastaanotin | | | | | | |
| 89 = Asunnon numero | | | | | | |

Hajaspektrilähetteen kuuluvuus anturin sijainnin muuttuessa

Alla olevassa kuvassa on hajaspektrilähetteen signaalin voimakkuudet jokaisessa mittauspisteessä. RSSI kuvaa signaalin voimakkuutta. Taulukosta on nähtävissä, ettei vaimennusta juuri synny. Alemmassa kuvassa on signaalin voimakkuus koko siirtymän aikana.



Kapeakaistaisen lähetteen kuuluvuus anturin sijainnin muuttuessa

Alla olevassa kuvassa on kapeakaistaisen lähetteen signaalin voimakkuudet jokaisessa mittauspisteessä. RSSI kuvaa signaalin voimakkuutta. Taulukosta on nähtävissä, ettei vaimennusta juuri synny. Alemmassa kuvassa on signaalin voimakkuus koko siirtymän aikana.

