

Jani Hellberg

UAV-lennokin käyttö tietoturvatestauksen työkaluna

Opinnäytetyö
Tieto- ja viestintätekniikka

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkintonimike	Aika
Jani Hellberg	Insinööri (AMK)	Kesäkuu 2020
Opinnäytetyön nimi UAV-lennokin käyttö tietoturvatestauksen työkaluna		39 sivua
Toimeksiantaja Innocode oy		
Ohjaaja Martti Kettunen		
Tiivistelmä <p>Tietoturvallisuuden merkitys kasvaa koko ajan. 5G-verkon kattavuuden laajentuminen kasvattaa uhkakuvaa entisestään. Nykyajan IOT-laitteet ovat levittäytyneet laajasti jokaista koskettavaksi verkoksi. Laitteiden lisääntyessä kasvavat myös riskit sekä mahdollisuudet käyttää IOT-laitteita rikollisiin toimiin. Langattomia verkkoja käyttävien laitteiden lisääntyessä käytettävissä olevat taajuusalueet alkavat tiheästi asutuilla alueilla olemaan ruuhkautuneita. UAV-lennokin käyttö mahdollistaa nopean ja varman tavan taajuusalueiden kartoittamiseen. Alueiden kartoittamisella voidaan välttää ruuhkautuneiden taajuuksien käyttö.</p> <p>Opinnäytetyö koostuu teoreettisesta ennakkotutkimuksesta, kokeellisen laiteympäristön toteuttamisesta ja laitteiden testaamisesta tietoturvallisuuden hyötykäyttöön. Teoriaosuuden aikana kartoitettiin mahdollisten laitteiden ominaisuuksia ja yhteensopivuuksia muiden käytössä olevien laitteiden kanssa.</p> <p>Tutkimuksessa tunnistettiin testausvaiheen aikana mahdolliset hyödyt ja haitat käytettäessä UAV-Lennokkia tietoturvallisuuden työkaluna. Työssä käsitellään myös lakien ja asetusten aiheuttamia ongelmatilanteita kyseisellä työskentelysektorilla. Heinäkuussa 2020 voimaan tulevan drone-ilmailun EU-asetuksen vaikutuksia käsitellään lyhyesti mutta avoimesti.</p> <p>Kiintyvyysanturien ja magneettisensorin yhdistävää sensorifuusiopiiriä käsitellään navigoinnin uudelleen toteutuksen mahdollistavana komponenttina. Tutkimuksen aikana vastaan tulleet ongelmat kerrotaan tuloksissa avoimesti ja mahdollisimman selkeästi.</p>		
Asiasanat drone, UAV, tietoturva, Innocode, tietoturva, matkapuhelinverkot		

Author (authors)	Degree	Time
Jani Hellberg	Bachelor of Engineering	June 2020
Thesis title		39 pages
Use of the UAV -plane as a tool of the cybersecurity		
Commissioned by		
Innocode oy		
Supervisor		
Martti Kettunen		
<p>Abstract</p> <p>The importance of information security increases all the time. When the use of 5G networks become more common, the threat level rises even more. The IOT devices of the present time have spread out into a network which affects the lives of an increasing number of people. When the number of IOT devices keeps increasing, so will the risks and possibilities to use them for criminal activities. When the use of wireless networks becomes more common, the available frequency ranges will become easily overloaded in the densely lived areas. The use of the UAV plane provides a quick and precise way to scan possible frequency ranges and this gathered information can be used to avoid the use of frequency ranges which have become overloaded.</p> <p>The thesis consists of a theoretical feasibility study, assembly of the experimental hardware environment and testing this environment from the perspective of information security. In the theory part, the properties of the possible devices and compatibilities with other devices in use were analyzed.</p> <p>During the thesis study, possible advantages and drawbacks were identified using an UAV plane as an information security tool and the problems and difficulties the current legislations and restrictions may cause in the sector were discussed. The effects of the current EU regulations of the drone avionics which come into force in July 2020 are discussed briefly.</p> <p>The microcircuit using sensor fusion from accelerometers and a magnet sensor is described as a replacement for the navigation when GPS signal is not available.</p> <p>The problems and difficulties which have arisen during the research, are described openly and as clearly as possible.</p>		
Keywords		
drone, UAV, information security, Innocode, cyber security, mobile networks		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TUTKIMUSKYSYMYKSET	7
3	TAVOITTEET	8
4	TUTKIMUSMENETELMÄ.....	8
5	TOTEUTUS.....	9
6	LAITTEISTOT	10
6.1	Navigointi	10
6.2	Radiolaitteet	12
6.3	Lennonohjausyksikkö	14
6.4	Matkapuhelinverkon hyödyntäminen	14
6.5	Mittauslaitteisto.....	15
6.6	Lennokki.....	15
7	TESTAUS.....	17
7.1	Antennit	17
7.2	Taajuudet	20
7.3	Matkapuhelinverkon käyttö.....	21
7.4	Hyötykuorma	24
7.5	Signaalien kartoitus	27
7.6	Autonominenlento	29
7.7	Magneettikenttä.....	31
8	LAKIEN VAIKUTUKSET TOIMINNALLE	32
9	ANALYSOINTI	34
10	JATKOKEHITYS	35
	LÄHTEET	37
	KUVALUETTELO	39

1 JOHDANTO

Tietokoneet ja etenkin niiden tulevaisuudessa aiheuttamat turvallisuushkat olivat omassa nuoruudessani vielä tuntematon käsite, etenkin Suomessa. Amerikan mantereella harrastajat löysivät tietotekniikasta uuden valloitettavan maailman. Tämän aikakauden ajanjaksolla tietotekniikan parissa olleet ovat päässeet näkemään tietoteknisten laitteiden ja järjestelmien vauhdikkaan kehityksen. Juuri tämän suuren kehitysvauhdin taustalla oli tulossa suuria ongelmia, joista normaalia elämää elävät tietotekniikan käyttäjät eivät olleet ollekaan tietoisia.

Näihin aikoihin ei tietoturvaan paljon panostettu. Kehitys ei ole ainoastaan tietotekniikassa ollut huimaa, myös mm. puhelimet kehittyivät 90-luvun alussa. Kolikkopuhelinaikoihin tietotekniikkaa käsittelevien lehtiä ja kirjoja lukemalla jokainen asiasta kiinnostunut sai selville, kuinka puhelinkopeilla pystyi soittamaan ilmaiseksi. GSM-puhelimen tultua markkinoille muuttui tämä phone phreaking -nimellä kulkeva harrastus vieläkin helpommaksi. GSM oli ensimmäinen helposti mukana kulkeva laite, jolla sai soittajan numeron selville. Ei mennyt aikaakaan, kun paikkakunnan puhelinkoppien numerot ja sijainnit olivat tiedossa, jolloin osaava nuoriso voi soittaa toisilleen vapaasti.

Kuinka tämä edellä kerrottu liittyy aiheena olevaan tutkimukseen?

Tietotekniikan alusta alkaen on kehitysvauhti ollut huimaa ja siinä samalla on itse tietoturvan suojaa käsittelevät asiat jääneet kehityksen varjoon. Laitteisiin ja järjestelmiin hyökkäävät tahot ovat aina olleet laitekehittäjiä edellä. Toimintatavatkin ovat periaatteiltaan edelleen samat, vain työkalut ovat muuttuneet ja kehittyneet. Alussa hyökkäävien tahojen tavoitteena oli vain hyöty itselle tai vain kiinnostus tekniikka kohtaan. Tässä asiassa on maailma muuttunut. Nykymaailman hakkereiden, valkohattujen, tavoite on edelleen vain kiinnostus tekniikkaan mutta toinen osa osaajista päättyy rahallisen, haitallisen tai jopa rikollisen toiminnan kannalle. Oma lukunsa on valtiolliset toimijat.

Tietoturvallisuuden merkitys kasvaa koko ajan. 5G-verkon kattavuuden lisääntyminen kasvattaa uhkakuvaan entisestään. Nykyajan IOT-laitteet (internet of things) ovat levittäytyneet laajasti jokaista koskettavaksi verkoksi. IOT-laittei-

den vaikutusta on lähes mahdoton normaalilla elämän tavalla välttää. Laitteiden lisääntyessä kasvaa myös riskit sekä mahdollisuus käyttää IOT-laitteita rikollisiin toimiin.

IOT-laitteet tarvitsevat verkon toimiakseen kuten laitevalmistaja on suunnitellut. IOT-laitteiden lisääntyessä käytettävissä olevat taajuusalueet alkavat tiheästi asutuilla alueilla olemaan ajoittain, jos ei jopa jatkuvasti tukossa. Jo käytössä olevien taajuusalueiden tai uusien taajuuksien käyttöönotto vaatii kartoituksen sille alueella, jolle suunnitellaan taajuuksia käytettävän.

Yhdeksän vuotta taaksepäin muistellessa tulee mieleen hetki, kun päätin alkaa itse rakentamaan itsestään lentäviä lennokkeja. Ystäväni pyysi avuksi koelennättämään suurta lasikuituista lennokkia, jota oli pohjanmaalla käytetty tulva-alueiden kartoittamiseen ja tulvatilanteen kehittymisessä. Kyseinen lennokki näytti ulkomuodoiltaan lähinnä hyljettä, jonka ei olettanut lentävän ollenkaan. Lennokin painopisteen löydyttyä tämä hyljettä muistuttava laite kuitenkin lensi todella upeasti. Tämän kokemuksen pohjalta päätin alkaa itse rakentamaan UAV-lennokkia (unmanned aerial vehicle).

Tämä tutkimustyön tarkoitus on mahdollistaa lennokin toteuttaminen kaupalliseksi tuotteeksi. UAV-lennokin kehittämisen tavoitteena on saada valmis työkalu, jonka käyttöä on mahdollista hyödyntää tietoturvan alla, etenkin taajuusalueiden kartoituksessa ja signaalien etsinnässä.

Lennonvarmistus antoi viime viikolla ilmaliikenteelle ensimmäistä kertaa varoituksen satelliitteihin perustuvassa paikannuksessa havaituista häiriöistä. (Mikrobitti 2018). Uutinen Naton sotaharjoituksen aikana tapahtuneesta GPS-signaalin (global positioning system) voimakkaasta heikkenemisestä oli ensimmäisiä tietoja mahdollisesta valtiollisesta GPS-signaalin häirinnästä. Toki havaintoja oli aikaisemminkin mutta tällä kertaa tämä tapahtui kesken suuren pohjoismaiden ja Naton yhteisen sotaharjoituksen.

Maailman navigointi perustuu GPS-satelliitteihin, joita hallinnoin USA-hallinto. Kiina, Venäjä ja EU ovat alkaneet kehittää omia vastaavia järjestelmiään juuri tämän mahdollisen häirinnän takia. Navigointiin on toinenkin mahdollisuus.

Navigointi maan magneettikentän ja kiihtyvyyssanturien avulla on täysin mahdollista automatisoiduille laitteille. Tämän tutkimuksen aloitushetkellä en ollut vielä tietoinen mahdollisuudesta osallistua navigointijärjestelmän kehittämiseen, joka perustuu magneettikentän ja kiihtyvyyssanturien käyttöön. Tämä mahdollisuus avautui Innocode oy:n valikoiduttua opinnäytetyön tilaajaksi.

2 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tutkimusongelma rajautuu kysymykseen:

1.Voidaanko UAV-lennokkia käyttää tietoturvatyökaluna?

Tietoturvasta tai tietoturvauhasta uutisoidaan hyvin usein. Itse uhkien torjunnasta tai torjuntaan käytettävistä työkaluista ei juurikaan julkisuudessa puhuta. Trendiksi ovat nousseet myös dronet ja niiden aiheuttamat mahdolliset uhat. Harva kuitenkaan tietää, että juuri näitä pääosin uhiksi määriteltäviä lentäviä laitteita voidaan käyttää myös turvallisuuden parantamiseen.

Tutkimuksen päätutkimuskysymyksestä johdetut alakysymykset ovat:

1.Mille tasolle UAV-lennokin oma tietoturva voidaan saada itse valmistamalla?

Kaupallisten lentolaitteiden haavoittuvuuksien riskinä ovat mahdolliset vaaratilanteet ympäristölle laitteen kaappauksen aiheuttaman tippumisen johdosta.

Tästä syystä aloin kehittämään järjestelmää, jolla voidaan minimoida mahdolliset vaaratilanteet lennokin ja maa-aseman tiedonsiirrossa ja eliminoida mahdolliset tunkeutumiset telemetriaan kesken lennon.

2.Voidaanko magneettikenttäanturia ja kiihtyvyyssanturien yhdistelmää käyttää GPS-järjestelmän tukena?

Ilmassa toimiville laitteille/aluksille paikannussignaalien toiminta on elintärkeä komponentti, jonka häiriöt voivat aiheuttaa suurtakin vaaraa. Tämän työn yhtenä osana on kehittää PNI mm module -magneettikenttäsensorin käyttöä GPS-järjestelmän tukena tai jopa korvaajana navigoinnissa.

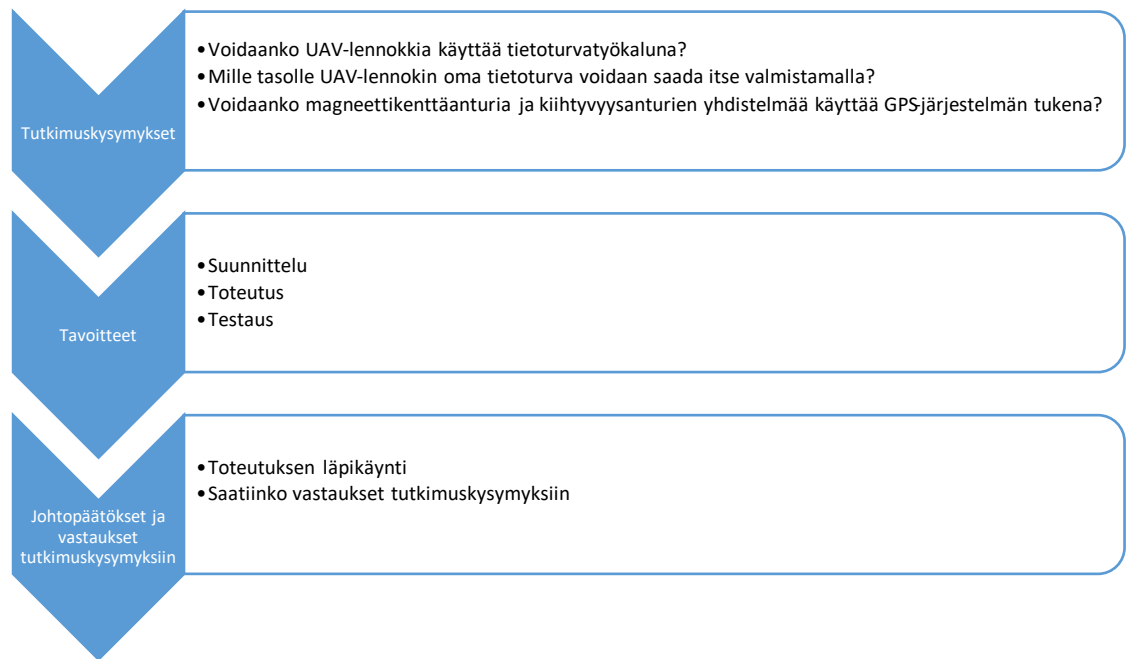
Työn aikana suunnitellaan myös VTOL-periaatteella (vertical take of) toimiva UAV-lennokki, joka on tarkoitus tuotteistaa valmiiksi tuotekokonaisuudeksi.

3 TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli saada toteutettua tietoturallinen kokonaisuus UAV-lennokin järjestelmälle sekä UAV-lennokki, jolla järjestelmä kokonaisuutta voidaan testata oikeassa ympäristössä. Järjestelmien suunnittelussa tietoturallisuus on etusijalla tutkimuksen eri vaiheissa. VTOL-periaatteella toimivan lennokin valmistamisen suunnittelu- ja toteutusvaihe suoritetaan rahoituksen puitteissa mahdollisimman pitkälle. Lennokin valmistusasteesta riippuen testejä toteutetaan myös muilla tavoin. Lennokin lentotestejä on tarkoitus tehdä Helsinki-East Aerodome -lentokentällä kevään 2020 aikana. Tavoitteena on myös saada selville SDR-radion (software defined radio) käytön mahdollisuus paikannettaessa signaali lähteitä ja kartoitettaessa taajuusalueiden käyttömahdollisuuksia. Taajuusalueella tarkoitetaan tässä tapauksessa valitun taajuuden tai taajuuksien seuranta mahdollisilta häiriöiltä testeissä käytetyllä alueella. Taajuusalueen testit suoritetaan 800 MHz:n ja 6 GHz:n välillä. Testialueina käytetään tiheästi asutettua, harvaan asutettua ja mahdollisimman syrjäistä aluetta, jotta saadaan selville, kuinka pitkälle radiolähettimien signaali kantamat riittävät. Tavoitteena on myös tutkia kiihtyvyyssantureiden ja magneettikentäanturin kanssa toteutettua yhtä kokonaisuutta, jotta voidaan todentaa mahdollisuus käyttää PNI mm modulen käyttömahdollisuuksia navigoinnissa (PNIcorp 2018).

4 TUTKIMUSMENETELMÄ

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä on kehittämistutkimus. Opinnäytetyön teoriaosuuteen käytetään aineistona tieteellistä alan kirjallisuutta ja artikkeleja. Teoriaosuuden tavoitteena on antaa perustiedot tutkittavasta aiheesta. Tutkimuksessa käydään läpi tutkimuskysymyksien haasteet, jonka jälkeen toteutetaan ja testataan tutkimukseen valitut laitteistot.



Kuva 1. Tutkimuksen vaiheet

5 TOTEUTUS

Tutkimus toteutettiin suunnittelu-, valmistus- ja testausvaiheissa.

Laitteiston suunnittelu alkoi kesällä 2018 lennokin rungon suunnittelulla. Pohjaksi rungolle valikoitui Gemini V2 kiinteäsiipinen lennokki. Lennokkia valmistaa Kanadassa toimiva Flying Squirrel Models -yritys. Sen kautta sain hankittua täydelliset piirustukset kyseiseen lennokkiin. Näiden piirustusten pohjalta oli varmempi suunnitella oma runkoratkaisu. Gemini V2:n runko- ja siipiratkaisut eivät suoraan toimi VTOL-periaatteella toimivassa lennokissa. Piirustusten hankinnan myötä säästyi paljon aikaa aerodynamiikan oikeaksi saamisessa. Tämän prototyypin rungon materiaalina on lasikuitukangas, jota laminoitiin kaksi kerrosta puusta valmistettujen muottien päälle. Alusta lähtien mitoitus toteutettiin lennokkiin tulevien laitteistojen mukaan. Tästä johtuen lennokin rungon muoto pysyi esikuvansa mukaan kulmikkaana. Rungon valmistus viivästyi kuitenkin vuoteen 2020.

Laitteiston valinnassa täytyi huomioida yhteensopivuus kaikkien mukaan liitettävien laitteiden suhteen. Aikaisempien kokemusten perusteella osasin odot-

taa ongelmia vanhempien ja uusien versioiden yhteensopivuudessa, mutta yhteensopivuusongelmia oli onneksi melko vähän. Suuremmilta laitteistovaihtoilta vältyttiin.

6 LAITTEISTOT

Tutkimuksen aikana valitut laitteet ovat kaikki saatavilla kaupallisilta toimijoilta. Laitteisto vaatimuksena oli ennalta tiedossa oleva luotettavuus ja mahdollisuus päivitysmahdollisuus uudempaan ohjelmistoversioon.

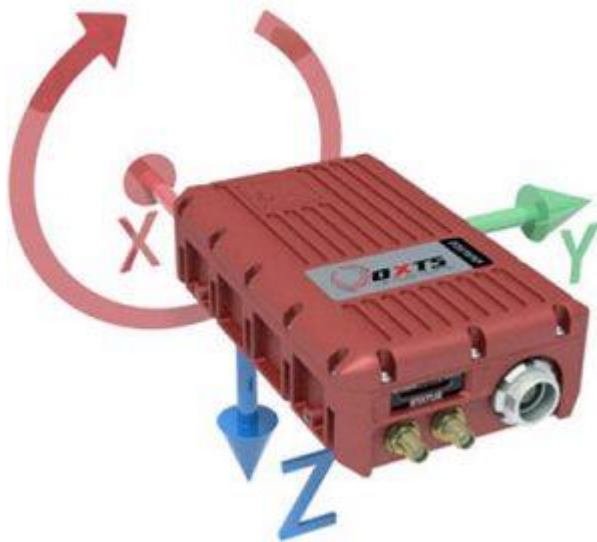
6.1 Navigointi

Tietoturvan kannalta lentävien laitteiden GPS-navigoinnin vikaantuminen on katastrofaalinen tilanne. Niin sotilas- kuin siviili-ilmailuun saatavat autonomiset laitteet navigoivat GPS-satelliittien avulla. Tämän järjestelmän pettäessä autonominen lentäminen muuttuu mahdottomaksi. Sotilasvälineistö on tässä asiassa tosin omaa luokkaansa, joita ei voida täysin verrata siviilimarkkinoilla oleviin laitteisiin. Tutkimuksessa keskitytäänkin siviilimarkkinoilla oleviin laitteisiin. PNI-yhtiön valmistama magneettikenttäsensori, jossa on myös yhdeksän akselinen kiintyvyysanturi. Sensorin avulla saadaan dataa, jonka avulla voidaan määritellä paikkatieto. Sensorin toiminnan kannalta täytyy tietää lähtöhetkellä olevan paikan paikkatieto (PNIcorp 2018). Paikkatiedon syöttäminen voidaan toteuttaa GPS-signaalin avulla tai määritellä manuaalisesti. Myös pohjoisen suunta täytyy määritellä. Tämän tutkimuksen aikana käydään läpi teoria sensorin toiminnasta. Aikaisempaa prototyyppitestausta on Innocode oy toteuttanut maastojuoksijaan kiinnitettävällä laitteella. Näiden testien perusteella paikannus tarkkuus on noin 100 mm:n luokkaa, joka on riittävä lähes kaikkeen paikannusta vaativaan toimintaan.

Sensoria on siis testattu vain maanpinnan läheisyydessä. Nyt toteuttavan tutkimuksen myötä laitteisto nostetaan UAV-lennokkiin kiinnitettynä ilmoihin. Testejä suoritetaan myöhemmässä vaiheessa myös lentokoneilla, laivoilla ja autoilla.

Sensorin toiminta perustuu inertiasuunnistukseen. Inertiasuunnistus on järjestelmä, jolla voidaan määritellä olemassa oleva paikka kiihtyvyyksien mittauksella. Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi järjestelmän toimintaperiaate. Inertiaalinen navigointijärjestelmä käsittää kaksi erillistä osaa, ensimmäinen on

IMU-unit jota (inertial measurement unit) joskus kutsutaan IRU:ksi (inertial reference unit). Tämä on yhteinen nimi kiihtyvyydsmittarille ja gyroskoopille, jotka tarjoavat kiihtyvyyden ja kulmanopeuden mittauksia. Toinen osa on navigointitietokone. Navigointitietokone ottaa mittauksia IMU:sta ja käyttää niitä INS:n (inertial navigation System) suhteellisen sijainnin, suunnan ja nopeuden laskeamiseen. Mittaamalla x-, y- ja z-akseleita, navigointitietokone voi ymmärtää kuinka se liikkuu ja pyörii. IMU-kehyskuvassa nähdään selvästi, kuinka mittauksen xyz-akselit on asetettu. Kuvassa 2 voidaan nähdä pyöreä nuoli, joka osoittaa, kuinka x-akselinen gyro mittaa kulmanopeuden (OXTS 2019.)



Kuva 2. Navigointitietokoneen toimintaperiaate (OXTS 2019)

Vaikka kukin nuoli osoittaa yhteen suuntaan, gyroskoopit ja kiihtyvyydsmittarit mittaavat edelleen kumpaankin suuntaan, kummankin akselin suuntaan tai sen ympäri. Nuolet osoittavat yksinkertaisesti, mihin suuntaan anturit näkevät positiivisen liikkeen. Joten jos tuote kiihtyy alaspäin (sinisen nuolen suuntaan), z-akselin kiihtyvyyssanturi osoittaa positiivisen arvon. Jos tuote kiihtyisi ylöspäin, z-akselin kiihtyvyyssanturi osoittaisi negatiivisen arvon. Vaikka inertiaalinen navigointijärjestelmä ei mittaa suoraan nopeutta, seuraamalla kuinka paljon kiihtyvyyttä on ja kuinka kauan se kestää, INS voi helposti selvittää nopeuden. Perinteisen inertiasuunnistuksen ongelmaksi on muodostunut tarkkuuden heikkeneminen kuljetun matkan pidentyessä. PNI mm -moduulin hyötynä on

magneettisensorin käyttö samanaikaisesti. Magneettikentän muutoksia verrataan menneeseen ja tulevaan muutokseen. Saatua dataa verrataan jatkuvasti kiihtyvyyssantureiden antamaan dataan ja korjataan arvoja, jotta navigoinnissa ei tule edellä mainittua matkan pidentymisen ongelmaa. Menetelmää on käytetty etenkin ohjuksissa, avaruudessa tarvittavaan navigointiin, sukellusveneissä ja kenttätyökistön mittausjärjestelmissä

Magneettikentän muutoksia voidaan havainnoida myös matkapuhelimen magneettisella kompassilla. Google Play -kaupasta saatava CrowMag-ohjelmisto, jolla voidaan seurata magneettikentän muutoksia. Jo matkapuhelimen anturilla saadaan kuva kentän muutoksista kulkiessa erilaisessa maastossa. Samaa reittiä kulkiessa usean kerran huomataan, että magneettikentän vaihtelu pysyy lähes samalla tasolla jatkuvasti. Matkapuhelimissa on vain kaksi akselinen anturi, joten niillä ei voida toteuttaa tarkkaa korjausta kiihtyvyyssantureilla toteutettavaan navigointiin. Matkapuhelimien antureissa on myös suuria eroja. Tutkimuksen aikana toteutettiin kokeilu useamman puhelimen kanssa. Tämän kokeilun myötä eroavaisuudet puhelimen herkkyydestä ja toiminnasta tulivat hyvin esiin. Erot saaduissa arvoissa olivat melko suuria. Magneettikentän häirintä on lähes mahdotonta, tämän asian johdosta navigointijärjestelmän toteuttaminen GPS-paikannuksen rinnalle on järkevää.

6.2 Radiolaitteet

Tutkimukseen kuuluu myös UAV-lennokin ohjaus-, sensori-, video- ja telemetria-signaalien turvallinen tiedonsiirto maa-asemalle. Kaupallisten valmistajien myynnissä olevia laitteita on suhteellisen helppo häiritä, koska nämä toimivat pääosin yhden taajuuden alaisina. Hyvin yleisesti on käytössä 2.4 GHz:n ja 5.8 GHz:n taajuuksilla toimivat lähetin/vastaanottimet.

Taajuuksissa on maakohtaisia eroja mutta taajuudet ja toiminnot ovat samat. Esimerkiksi DJI-valmistamat laitteet käyttävät 2.4 GHz:n ja 5.8 GHz:n taajuuksia sen mukaan kuinka vapaata kaistaa on saatavilla. Tästä huolimatta on lentototeutavissa tullut usein esiin epätavallista toimintaa signaalien kadottua. Tämä on tullut usein esiin lentopaikan ollessa alueella, jossa on maavoimien käyttämiä tutkia. Testilentoja suoritettaessa Sodankylän alueella, kaikki toiminnot katosivat hetkeksi ja palautuivat takaisin muutaman minuutin ajaksi. Tämä

kuitenkin tapahtui muutaman minuutin välein. Alueelta kauemmaksi siirryttyämme ongelma poistui. Sama toistui Norjassa lennettäessä alueella, jonka läheisyydessä on Naton toimintaa. Kyseisien paikkojen etäisyys mahdollisista tutkista on ollut yli 500 metriä. Tämän estämiseksi tutkimuksessa on tavoite kehittää lennokin järjestelmiä, jotta yhden taajuuden häiritseminen ei aiheuta välitöntä vaaraa lentotoiminnalle.

Lennokin autonomisen toiminnan kannalta GPS-häirinnän mahdollisuus tällä hetkellä ja etenkin Suomessa on hyvin pieni. Ohjaus-, video- ja telemetriasignaalien katoamien häirinnän tai lentoalueella olevan muun lähettimen johdosta on hyvinkin mahdollista. Drone-laitteiden kanssa toimineet tuntevat tilanteen, kun laite ei enää vastaakaan ohjaukseen tai kuvasignaali katoaa kesken lennon. Nämä ovat tilanteita, joihin pilotit eivät halua joutua.

UAV-lennokkijärjestelmien valintaan vaikutti hinnan lisäksi hyväksi todetut toiminnan edellytykset. RC -lennokkiharrastajien(radio controlled) suosimat lähettimet ja vastaanottimet on nykyaikaisia lähettimiä, joita saa usealla eri taajuusalueella toimivina. Näidenkin lähetinyksiköiden suunnittelussa on otettu huomioon mahdollinen taajuusalueen tukkeutuminen tai häiritsevien muiden lähettimien toiminta. Kyseisissä lähettimissä käytetään taajuudenvaihtotekniikkaa, jonka ansiosta lähetin vaihtaa hyvin nopeasti taajuutta. Tämä tulee hyvin esiin SDR-radion kanssa lähettimen taajuusaluetta skannatessa. Taajuusalueella ei ole yhtä käytössä olevaan taajuutta, vaan lähetys tapahtuu siirtyen taajuudesta toiseen hyvin nopeasti. Signaalispektristä havaitaan vain ajoittain näkyvä lähetys. Signaalin kaappaus on näin ollen erittäin vaikeaa. Lennokin ohjaimeksi ei valikoitunut RC-lennokkiradio niiden melko lyhyen signaalikantaman takia. Maksimikantama RC-lennokkiradiolla on noin kaksi kilometriä. HereLink lähetinyksikkö valikoitui toteutuksen lähettimeksi. Valmistajan ilmoittama 12 kilometrin kantama EU-alueella on riittävä. HereLink-järjestelmän etuna on myös usean maa-asemalaitteen liittäminen langattomasti vastaanottimeen. Tämän ansiosta saadaan MAVLink-viestintäprotokollaa käyttävä Mission Planner lento- ja paikannussovellus toimimaan kannettavalla tietokoneella tai tabletilla. Näin toimien saadaan vapautettua ohjaimen 5.5" näyttö muuhun käyttöön (Heli Engading 2019.)

6.3 Lennonohjausyksikkö

UAV-lennokin lennonohjausyksikkönä käytetään Ardupilot 2.8 ja Pixhawk 2 yksiköitä. Ardupilot-järjestelmä on open source -ohjainyksikkö, jonka avulla voidaan toteuttaa useita erilaisia autonomisesti toimivia laitteita. Ardupilot on myös täysin yhteensopiva Mission Planner -sovelluksen kanssa, jonka johdosta valinta oli helppo. Käytännön kokemus Ardupilot -yksikön kanssa toteutetuista lentävistä laitteista on myös antanut myönteisen kuvan järjestelmän luotettavuudesta. Lennokin toimintatavaksi valittu VTOL on myös Ardupilot-järjestelmässä tuettuna. VTOL-toteutuksen hankaluutena on lennokin muuttuminen multikopteriperiaatteesta kiinteäsiipiseksi lennokiksi. Tämä muuntumisvaihe ilmassa vaatii tarkkaa ajoitusta ja varmaa toimintaa, jonka Ardupilot -yksiköt kykenevät hoitamaan. Ardupilot -järjestelmään liitetään kaikki muut anturit ja laitteet pois lukien kamerajärjestelmä ja SDR-radio. GPS- ja PNI-sensorit hoitavat navigoinnin, HereLink-vastaanotinyksikkö UAV-lennokin ohjauksen, joiden lisäksi varmuusjärjestelmiksi 433 MHz:n telemetrylähetin ja Raspberry pi:llä toteutettu LTE -modeemijärjestelmä (long term evolution).

6.4 Matkapuhelinverkon hyödyntäminen

LTE -modeemin välityksellä saadaan telemetry ja paikkatieto varmasti maa-asemalle HereLink-järjestelmän mahdollisen toimintahäiriön tapahduttua. LTE:n kautta saadaan data maa-asemalle käyttäen UavMatrix-ohjelmistoa. Raspberry pi:llä toteutetaan myös SDR-radion käyttö maa-asemalta käsin. UavMatrix -ohjelmiston ja LTE-modeemi toteutuksella saadaan varajärjestelmä myös lennokin ohjaukselle. Syy, miksi ei käytetä vain LTE-modeemin kautta toimivaa ohjausta on, viive. LTE:n kautta toteutetussa ohjauksessa viive lähettimen käskyn lähetyksen ja vastaanottimen saaman tiedon välinen viive on ohjauksen kannalta liian pitkä. Verrattuna HereLink-lähetinyksikön 110 ms:n viiveeseen voi LTE-verkon viive kasvaa useaksi sekunniksi. Usean sekunnin viive tekee lennokin ohjaamisessa erittäin vaikeaa. Varajärjestelmänä tämä ratkaisu toimii. Jos varajärjestelmää jossain tilanteessa tarvitaan, voidaan tämän avulla saada lennokka turvallisesti laskeutumaan tai siirrettyä alueelle jossa siitä ei ole vaaraa. Toinen syy LTE-modeemin valintaan on mahdollisuus jäljittää lennokka tilanteessa, jossa se on syystä tai toisesta kadonnut. LTE-verkon kattavuus on maailmanlaajuisesti erittäin hyvä. Vaikka muut järjestelmät eivät lähettäisi dataa, on melko varmaa, että LTE-verkon

kautta saadaan data maa-asemalle. Tämä on siis turvallisuuden kannalta varallu varajärjestelmä.

6.5 Mittauslaitteisto

HackRF One on lennokin tämän tutkimuksen mittalaitteena. SDR-radion avulla testausvaiheessa toteutetaan signaaliperusteista etsintää ja kartoitusta. Käytännön tarpeisiin sovellettavuuden johdosta keskitytään matkapuhelin-, wifi- ja bluetoothlaitteiden käyttämiin taajuuksiin. Testien aikana on tarkoitus kartoittaa myös 3.5 GHz:n aluetta tulevan 5G-testiverkon alueella. Signaaliet-sintää toteutetaan myös maatasolta ajoneuvoja käyttäen. HackRF One on SDR -radio, jonka taajuusalue ulottuu 10 MHz:sta aina 8 GHz:iin asti (Greatscottgadgets 2016). Kattavan taajuusalueen ansiosta saamme etsittyä ja tutkittua lähes mitä vain käytössä olevia langattomia laitteita.

Tämä tutkimuksen myötä ei toteuteta ilmasta käsin langattomien laitteiden hakkerointia. Tämä on kuitenkin mahdollista. HackRF One -SDR-radiolla voidaan vastaanoton lisäksi lähettää koko taajuusalueella. Täytyy kuitenkin huomioida lain määräämät kiellot. Tietoturvyökaluna HackRF One on erittäin hyödyllinen työkalu. Pienen kokonsa ja painonsa ansiosta laite on helppo liittää osaksi lennokin järjestelmiä. HackRF One -käyttö onnistuu Linux-, Windows-, Apple os- ja Android-laitteilla. Tässä toteutuksessa toiminta toteutetaan Linux-pohjaisella toteutuksella. Lennokkiin liitettynä käyttöliittymänä toimii GNU-ohjelmisto, joka on myös tarkoitettu pääasialliseksi käyttöliittymäksi. Windows-pohjaiset sovellukset ovat huomattavasti helpompia käyttää, mutta useissa on mahdollisuus vain vastaanottoon. Ongelmaksi Windows-pohjaisissa ohjelmistoissa muodostuu etenkin Windows 10:en osalta USB-ajurit, joita Windows itse yrittää asentaa, tässä kuitenkin koskaan onnistumatta.

6.6 Lennokki

Kaikki nämä edellä mainitut liitetään yhdeksi kokonaisuudeksi, jolla saadaan järjestettyä turvattu ympäristö. Lisäksi tulevat tietysti lentämiseen tarvittava UAV-lennokki. Tutkimuksen aikana lentotoimintatestaukset toteutetaan kiinteäsiipisellä, Wing- ja VTOL-tyyppisellä lennokilla. Tässä tutkimuksessa ei käytetä multikopterityyppisiä laitteita. Tavoitteena on saada suunniteltu VTOL-UAV-lennokki lentokuntoiseksi ja testattua. VTOL-lennokin toimintaperiaate on

melko poikkeava muihin lentäviin laitteisiin nähden. Kiinteäsiipinen lennokki tarvitsee kiitoradan nousuun ja laskuun. Nousuun vaadittava matka alle 25 kg:n lennokeissa vaihtelee 5-25 metrin välillä riippuen lentoonlähtöpainosta. Laskuun tarvittava matka on huomattavasti pidempi laskuliidon takia. Tarvittava kiitorata hankaloittaa lennokin käyttöä. Wing-tyypin lennokki koostuu yhdestä kiinteästä siivestä. Tämän tyypin lennokeissa moottori on yleisesti takana, mutta on myös lennokkeja, joissa moottori on edessä. Wing-tyypin lennokeissa ei yleensä ole nousuun ja laskuun tarvittavia pyöriä. Näiden lentoon saaminen vaatii katapulttityylisen lähtöalustan tai pienemmät voidaan heittää ilmaan. Laskeutuakseen Wing-tyypin lennokit vaativat kohtuullisen pitkän matkan ja hyvän maaston laskeutuessaan. Wing-tyypin lennokkien lentonopeus on myös oltava kiinteäsiipistä suurempi, jonka takia laskeutuminen vaatii myös pitkän matkan. Lento-ominaisuuksiltaan edellä mainitut eivät paljon eroa toisistaan.

Multikopteri-tyyliset laitteet ovat siivettämiä. Useimmiten kun puhutaan dronesta, tarkoitetaan juuri multikopteri-tyypin laitteita. Multikoptereissa voi olla moottoreita kolmesta ylöspäin, ylärajaa ei periaatteessa ole. Hyötynä siivellisiin laitteisiin on mahdollisuus nousta ja laskeutua kaikkialle, jopa veteen. Haittana on taas siiven puuttuminen, jolloin ei voida käyttää siivellisille tyypillistä liitämistä hyödyksi. Hyötysuhde on siis paljon huonompi kuin siivellisillä laitteilla.

VTOL-tyypin lennokki on multikopterin ja kiinteäsiipisen yhdistelmä. Multikopteri tavoin nousu ja lasku on mahdollista kohtisuoraan tai voidaan käyttää kiitorataa. Useimmiten VTOL-lennokeissa on neljä nousuun ja paikallaan oloon tarvittavaa moottoria. Nämä ovat yleisesti sähkömoottoreita, joiden teho on täysin riippuvainen lennokin maksimipainosta. Lisäksi tarvitaan yksi moottori, joka antaa tarvittavan työntövoiman eteenpäin lennettäessä. Yleisin toteutus on sähkö- tai polttomoottori lennokin perään. Muita mahdollisia toteutuksia on etummaisten nostoon tarvittavien moottoreiden kääntäminen eteenpäin nousun jälkeen. Lentoon tarvittava moottori voi olla myös edessä tai eteenpäin sijoitettuna mutta lennokin pyrstöön liitettynä.

Tämän tutkimuksen toteutuksena on neljän nostoon tarvittavan moottorin lisäksi taakse sijoitettava sähkö- tai polttomoottori. Ilmaan päästyään ohjauksen hoitava tietokone muuttaa neljän nostomoottorin ja lentoon tarvittavan työnnon moottorien käynti suhdetta niin, että eteenpäin suuntautuvan nopeuden saavutettua riittävä ilmanopeus sammuvat nostomoottorit. Näin ollen muuttuu multikopteri kiinteäsiipiseksi lennokiksi. Laskeutuminen toteutetaan edellä mainittu käänteisesti. Kriittinen vaihe muutoksessa on saavuttaa oikea ilmanopeus muutoksen ajankohdaksi. Liian pienellä ilmanopeudella lennokin putoaminen on hyvin todennäköistä ja liian suurella ilmanopeudella suoritettava muutos lisää energian tarvetta huomattavasti nostomoottoreille niiden pyrkiessä muuttamaan lennokin suunta eteenpäin suuntautuvasta liikkeestä paikallaan olevaksi ja sitä myöten laskeutumisen. Kyseistä toteutusta on myös Bell Boeing V-22 -Osprey VTOL-lentokoneessa. Tämä toteutus eroaa kuitenkin moottoreiden osalta. Koneen toiminta on toteutettu kahdella Tilt-Rotor-moottorilla, jotka nousun jälkeen kääntyvät eteenpäin.

7 TESTAUS

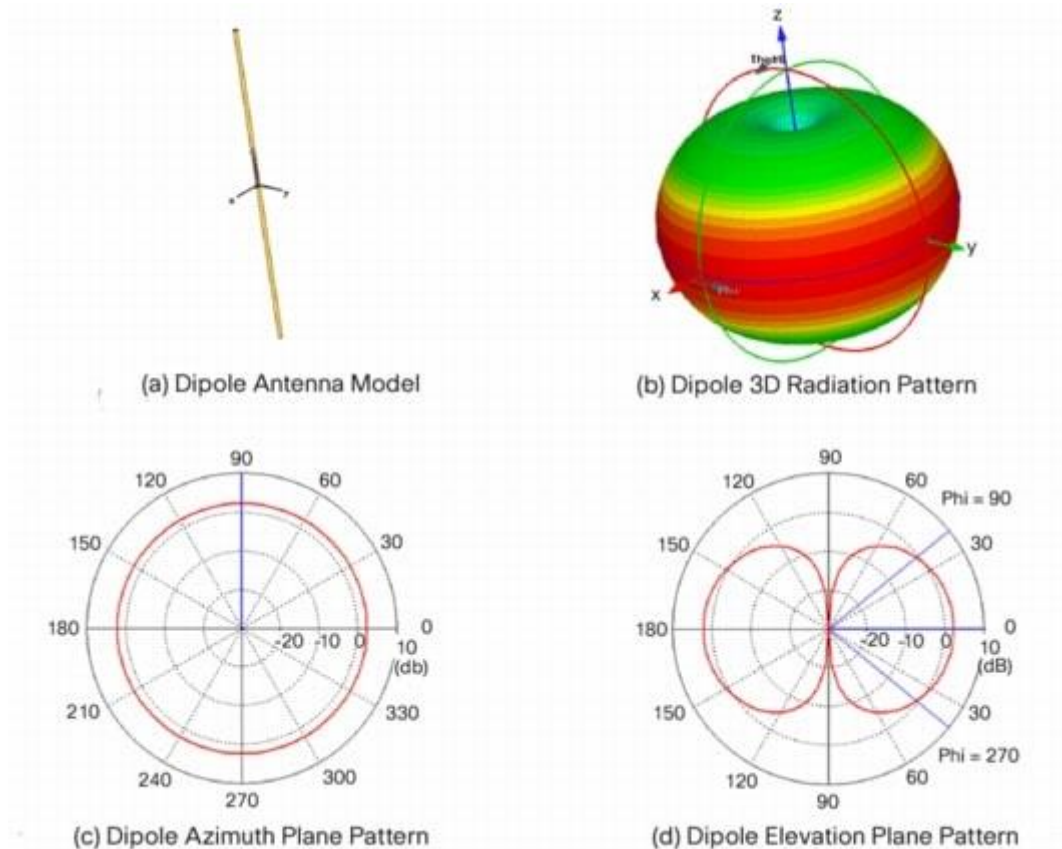
Tutkimuksen testaukset aloitettiin talvella 2019 kokeellisella Wing-tyypin lennokilla. Tämän testin toteutuksella saatiin tuloksia antennityyppien eroille nopeassa liikkeessä. Kirjoittaja on toteuttanut saman testin aikaisemmin kiinteäsiipisellä lennokilla, joihin näitä tuloksia voidaan verrata. Toteutuksen maksimilentoetäisyydet pilotin ja lennokin välillä pidettiin alle yhdessä kilometrissä korkeuden ollessa alle 150 metriä. Lentotoiminnan aikana pilotin lisäksi oli toinen henkilö tarkkailijana pilotin ja maksimilentoetäisyyden välillä. Wing-tyypin lennokissa ei testien toteuttamisen aikana ollut autonomisen lentämisen mahdollistavaa laitteistoa, vaan nämä lennot toteutettiin manuaalisesti lentämällä. Autonomisen lennon testejä tehtiin DJI Mavic Air -multikopterilla. Autonomisesti toteutetusta testistä myöhemmässä vaiheessa lisää.

7.1 Antennit

Lentotestien välillä vaihdettiin antennityyppejä videolähettimeen ja telemetrialähettimeen. Telemetria lähettimen toimintataajuus oli 433 MHz ja videolähettimen 5.8 GHz. Lähetystehot olivat 25 milliwattia. Vastaanottimessa käytettiin Single Patch- ja Dipoli-antenneja. Antennityyppejä olivat Dipoli-, Single Patch- ja Omnidirectional.

Dipoli antennin toiminta lentotilanteissa:

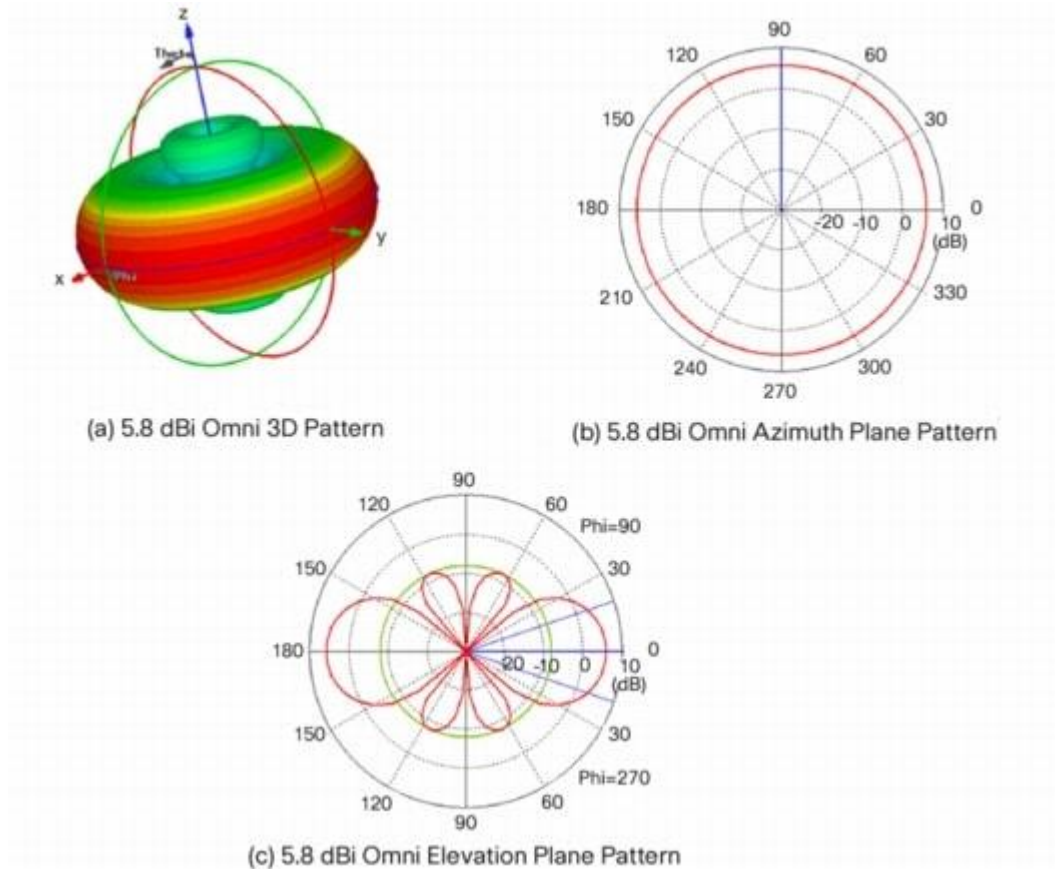
- Lennettäessä pilotin läheisyydessä lähetyksen toiminnallisuus oli hyvä.
- Lennettäessä kohti testin maksimietäisyyttä lähetyksen katkonaisuus alkoi lisääntyä huomattavasti. Pilotti joutui itseään kääntämällä kohdistamaan videolaseissa olevan vastaanottimen suunnan kohti lennokkia.
- Lennokin liike ja kallistumiset eivät vaikuttaneet toimintaan.
- Sama toiminta video- ja telemetrialähetyksessä.
- Kuvassa 3 on nähtävissä säteilykuvio.



Kuva 3 Dipoli antennin säteilykuvio (Cisco 2007).

Omnidirektionaalisen antennin toiminta lentotilanteissa.

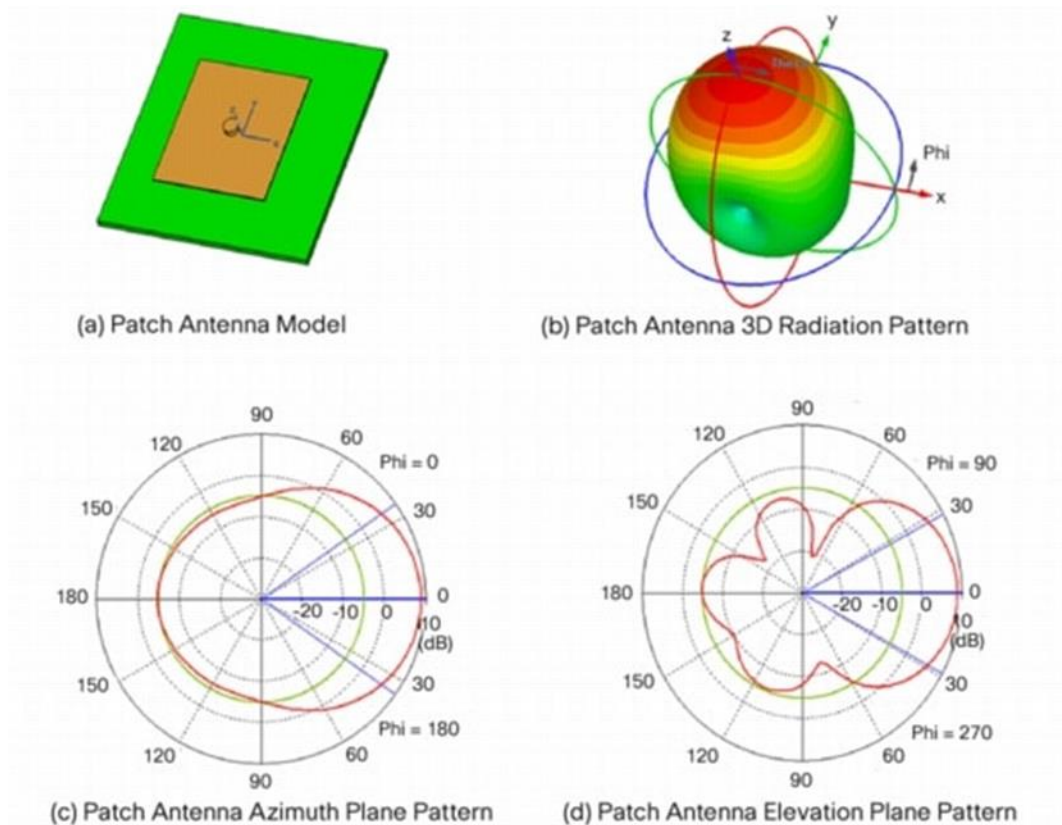
- Lennettäessä pilotin läheisyydessä lähetyksen toiminnallisuus muuttui hyvin epävakaa. Yläpuolella lennettäessä video lähetykset katosi lähes kokonaan. Lähetykset toimivat vain seuraamalla lennokkia.
- Lennettäessä kohti testin maksimietäisyyttä lähetyksen toiminta oli hyvä. Kuitenkin lennokin kallistuessa voimakkaasti suuntaan tai toiseen lähetykseen aiheutui ajoittaista katkonaisuutta.
- Telemetria lähetyksessä ei ollut testin aikana katkonaisuutta.



Kuva 4. Omnidirectional antennin säteilykuvio (Cisco 2007).

Single Patch antennin toiminta lentotilanteissa:

- Lennettäessä pilotin läheisyydessä lähetykset katkoivat erittäin pahasti, ajoittain lähetykset katkesivat kokonaan. Lähetykset toimivat vain seuraamalla jatkuvasti lennokkia.
- Lennettäessä kohti testin maksimietäisyyttä lähetyksen toiminta oli hyvä. Kuitenkin lennokin kallistuessa voimakkaasti suuntaan tai toiseen lähetykseen aiheutui ajoittaista katkonaisuutta. Lennokin seuranta täytyy jatkaa edelleen.
- Telemetria lähetyksessä oli samat ongelmat.
- Lentäminen laittaen Single Patch -antenni lennokkiin ei ole toimiva ratkaisu. Single Patch -antennin suuntaavuus on tarkka mutta samalla keila on erittäin kapea.
- Kuvassa 4 nähtävissä säteilykuvio.



Kuva 5. Single Patch antennin säteilykuvio (Cisco 2007)

Wing-lennokin testeissä saatuja tuloksia vertaamalla aikaisemmin kiinteäsiipisellä suoritettuihin testeihin nähden tuloksissa oli hyvin vähän eroja. Wing-lennokin käyttäytyminen on kiinteäsiipistä aggressiivisempaa, jonka johdosta Omnidirectional-antennin käytössä lähetyksen katkonaisuus oli voimakkaampaa. Single Patch-antennin käyttöä ei voida suositella kummassakaan lennokkityypissä. Vain maa-aseman vastaanottimen antennien Auto Tracking -järjestelmä mahdollistaa Single Patch-antennien käytön. Auto Tracking-järjestelmällä saadaan vastaanottimen antennit seuraamaan lennokin lähettää GPS-dataa, jolloin antennien kohdistus kohti lennokkia pysyy mahdollisimman tarkkana. Tässä tutkimuksessa ei käsitellä Auto Tracking-järjestelmän käyttöä. Antenni testien tuloksien perusteella 5.8 GHz:n ja 443 MHz:n lähettimen 25 milliwatin teholla ei saavuteta tarvittavaa maksimietäisyyttä.

7.2 Taajuudet

Suomessa voimassa olevien radiolähetin rajoitusten osalta voidaan tehoa hieman lisätä mutta toimintaetäisyyden kasvaminen suunniteltuun maksimietäisyyteen ei ole mahdollista.

Liikenne- ja viestintävirasto ohjaa ja valvoo radiotaajuuksien käyttöä Suomessa. Taajuuksien käytön suunnittelulla pyritään varmistamaan, että radiojärjestelmille on osoitettavissa riittävästi käyttökelpoisia, mahdollisimman häiriöttömiä radiotaajuuksia (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020).

Yleisesti käytettäviä radiotaajuuksia ja niiden tehorajoituksia on alla olevassa taulukossa.

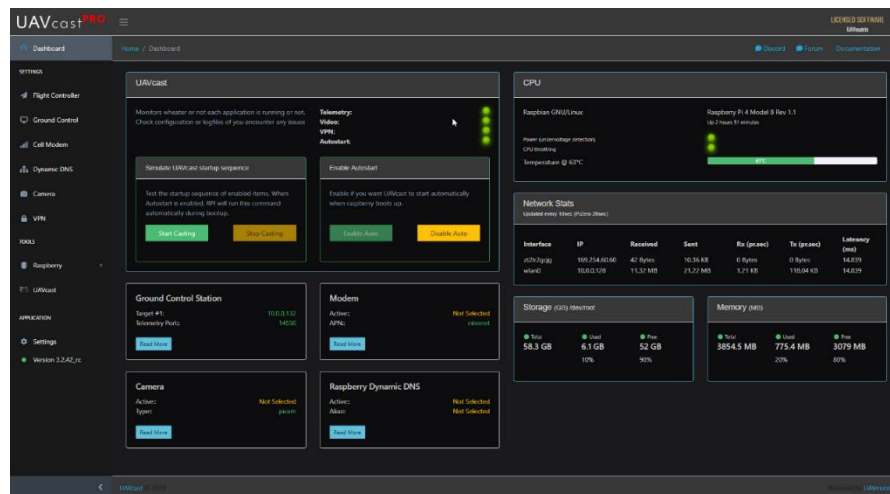
Taajuus	mW
443MHz	≤25 mW EIRP
2400,000–2483,500 MHz	≤100 mW EIRP
5470,000–5725,000 MHz	≤1 W EIRP ≤50 mW/1 MHz EIRP

Liikenne- ja viestintäviraston uuden ohjeistuksen mukaan matkaviestinverkkojen päätelaitteita ei pääsääntöisesti saa käyttää lennokissa, miehittämättömässä ilma-aluksessa tai muussa ilma-aluksessa, jos sitä ei ole sallittu määräyksessä 15. Lyhytaikaista erikoislupaa on mahdollista anoa liikenne- ja viestintäministeriöstä mutta en nähnyt tämän olevan tässä kohtaa järkevää (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Tämän säännön johdosta Raspberry pi:n ja LTE-modeemin yhdistelmää lennokin viestintälaitteena ei tutkimuksen aikana voida toteuttaa. Testit suoritettiin käyttäen valmistettua laitteistoa maan päällä tapahtuvilla testeillä.

7.3 Matkapuhelinverkon käyttö

Raspberry pi -pienoistietokoneen ja LTE-modeemin avulla toteutettu järjestelmä ohjaukselle ja telemetrialle, toteutettiin Bernt Christian Egelandn kehittämällä UavCast Pro-ohjelmistolla. Ohjelmiston avulla saadaan MavLink-protokollaan perustuvien lennonohjaimien telemetriadata LTE-verkon kautta käyttöön. Järjestelmää voidaan käyttää myös muilla lähettimillä ja taajuuksilla. Testauksen vaiheissa käytettiin myös wifi-verkkoa korvaamassa LTE-verkko. UavCast Pro kykenee myös lähettämään videokuvan LTE-verkon kautta mutta, tässä tutkimuksessa ei tätä ominaisuutta otettu käyttöön. Toimintaperiaatteena on tehdä yhteys Raspberry pi -pienoistietokoneesta halutulle serve-

rille, jonka kautta saadaan selainpohjainen käyttöliittymä käyttöön. Tämä voidaan toteuttaa hankkimalla kiinteällä IP-osoitteella oleva LTE-liittymä tai käyttämällä dynaamista DNS-palvelua (domain name system).



Kuva 6. UavCast Pro käyttöliittymä

Tämän tutkimuksen aikana testattiin kumpaakin mainittua mahdollisuutta. Innocode oy:n ollessa verkko-operaattori kiinteä IP-osoite oli wifi-verkko testeissä käytössä. Testien siirtyessä ajoneuvoon päädyttiin käyttämään dynaamista DNS-palvelua. Samalla saimme dynaamisen DNS-palvelun toimintaa testattua. Odotuksena oli dynaamisen DNS-palvelun aiheuttavan liikaa viivettä. Testilaitteiston pysyessä paikallaan kaikki toimi yli odotuksien. Ardupilotin kallistukset näkyivät lähes viiveettömästi UavCast pron kautta käytettävässä Mission Planner -ohjelmistossa. UavCast pron käyttöliittymästä näkee myös akun varauksen, tiedot Raspberry pin lämpötilasta ja muistin sekä prosessorin käyttöasteesta. Laitteiston siirtäminen autoon päästiin testaamaan toimintaa liikkeessä. Tämän testin vaihe toteutettiin siirtämällä lennokki kokonaisuudessaan auton kyytiin. Näin välttyttiin turhalta purkamiselta ja kokonaisuus säilyi samana kuin se olisi ollut myös ilmassa. Oletettu lentonopeus on siis testeissä auton nopeus.

Tällä toteutuksella saatiin kuitenkin testattua laitteiston toimivuus käyttäen dynaamista DNS-palvelua. Seuraten etänä UavCast pron ja Mission Planner-ohjelmistojen käyttöliittymää saadaan selville aiheuttuko LTE-verkon käyttämisestä haittaavaa viivettä tai yhteyden katkeamista. Ilmassa tehtävään testiin nähden maantasossa suoritettava testaus ei anna täysin oikeaa kuvaa LTE-verkon toiminnasta. Ilmassa ei ole maastoesteitä LTE-modeelille kun

taas maatasolla esteitä tulee ajoittain väkisinkin. Testauksessa tuli esiin ongelmaksi muodostunut yhteyden ajoittainen katkeaminen ja syrjäseudulle mennessä viiveen kasvaminen. Yhteyden toimiessa viive ei ollut haittaava. Viiveen haittaavuus voitiin todeta autolla liikkeellä olevan ilmoittaessa hetki jolloin heilauttaa lennokkia, Mission Planner -ohjelmistoa valvova pystyi näin todentamaan liikkeen olevan oikea, jota havainnoida. Yhteyden toimiessa lennokkia olisi hyvin voinut ohjata ilman haittaavaa viivettä.

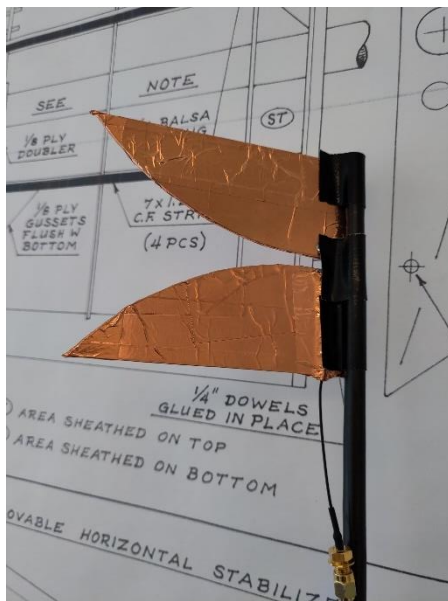


Kuva 7. Mission Planner keinohorisontti(Hellberg 2020).

Testin aikana LTE-modeemi vaihtoi useasti verkkolinkkiä. Näiden linkkivaihdoksien aikana aiheutui selkeä viive ja ajoittain käyttöliittymän päivittymisen pysähtyminen. Yhteyden täydellistä katkeamista ei testien aikana tapahtunut. Havainnoista voidaan päätellä ongelma, jonka LTE-verkon huonontuminen tai verkkolinkin vaihtuminen voi pahimmillaan aiheuttaa. Syrjäseudulla, jossa LTE-verkon toiminnan varmuus ei ole tarvittavalla tasolla olisi lennokin lentäminen mahdotonta pelkän LTE-verkon välityksellä. Tietoturvan kannalta dynaamisen DNS-palvelun käyttö ei myöskään ole paras mahdollinen. Turvallisuus on täysin riippuvainen palveluntarjoajan omasta turvallisuudesta. Kiinteää IP-soitetta käytettäessä turvallisuustaso on paremmalla tasolla. Hyökkääjän täytyisi ensin saada käytettävä IP-osoite selville pystyäkseen järjestelmää uhkaamaan. Kiinteän IP-osoitteen käyttäminen ei kuitenkaan poista muita

edellä havaittuja ongelmia lennokin ohjaamisessa. Näiden havaintojen perusteella LTE-verkon käyttö lennokin ohjausjärjestelmänä ei ole suositeltavaa. Varajärjestelmänä tai telemetriadatansiirtoon LTE-verkko toteutus on toimiva ratkaisu. Mahdollisena käyttökohteena on myös datan tai videokuvan näyttämien asiakkaalle, joka on toisella paikkakunnalla tai jopa toisessa maassa. Näissä tapauksissa viive ei yleensä haittaa.

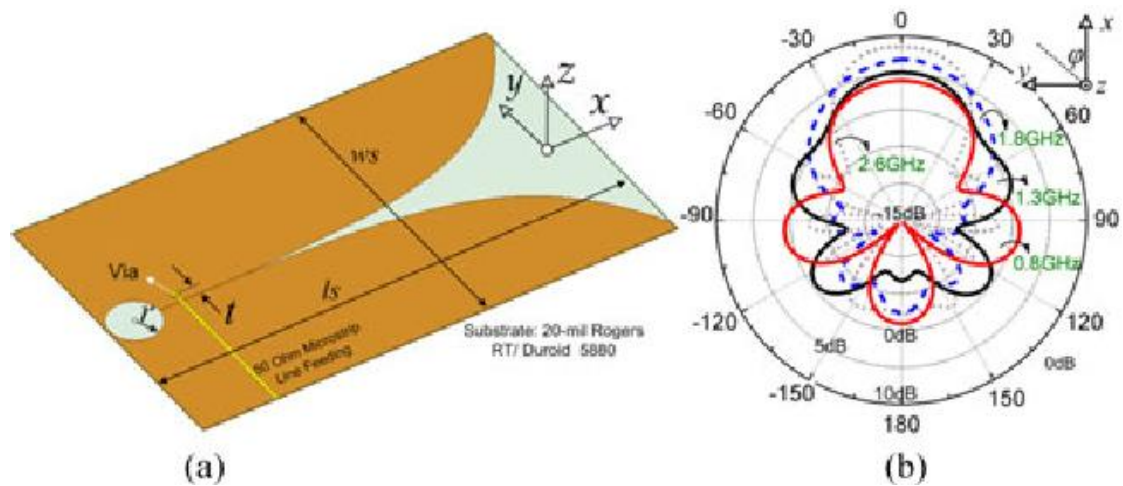
7.4 Hyötykuorma



Kuva 8. Vivaldi antenni(Hellberg 2020).

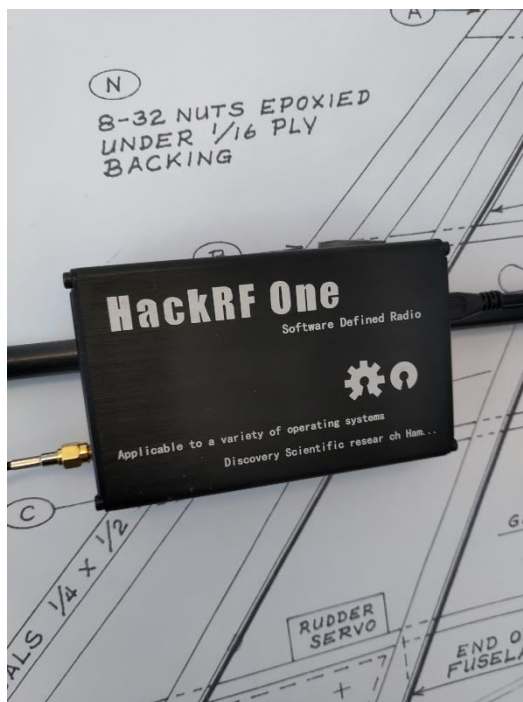
Lennokin hyötykuormaksi suunniteltu HackRf one -SDR-radion antenniksi valmistin Slot-antennin, jota myös Vivaldi-antenniksi kutsutaan (Changpuak 2019). Antenni suunniteltiin Antipodal Vivaldi Antenna Designer -verkkosovelluksella ja toteutettiin laserleikkaamalla akryylilevystä antennin runko, joka päällystettiin kuparilla. Toiminnalliseksi taajuudeksi laskettiin 800 MHz:n-2800 MHz:n taajuusalue (Changpuak 2019). Vivaldi-antennin laaja taajuuskaista

mahdollistaa yhdellä antennilla tarkasteltavaksi valitun taajuusalueen. Antennin koko on myös tällä taajuusalueella kohtuullinen. Suuntauksessa aerodynaamisuuden kannalta voidaan antenni sijoittaa vain lennokin suuntaisesti ja alas tai alaviistoon. Mahdollisuus on rakentaa kääntökelkka antennille, jotta antennia voidaan kääntää tarvittavaan suuntaan lennokin alla. Ilman kääntökelkkaa on signaalin etsintäsuunnan muututtua vasemmalta oikealle vaihdettava lennokin kiertosuunta kohteen suunnan mukaiseksi. Tämä taas aiheuttaa turhaan lennokin lentosuunnan muutoksia, joka ei ole järkevää kuluttaen energiaa ja näin ollen lyhentää lentoaikaa.



Kuva 9. Slot, Vivaldi antenni (Yuandan Dong, Jun H. Choi, Tatsuo Itoh, 2018).

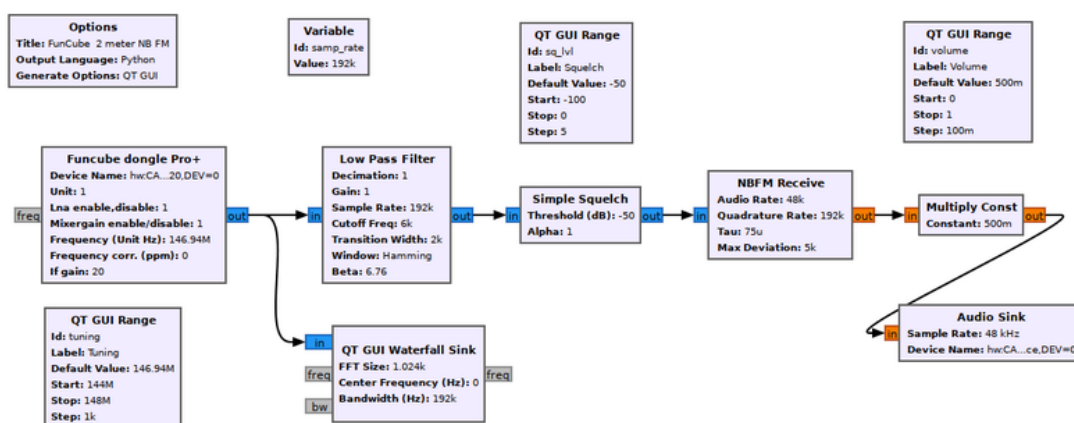
Vivaldi-antennin toiminta todettiin testien myötä erittäin hyväksi. Vahvistusta oli tietyissä testauksilanteissa hieman liikaa. Testatessa GSM-puhelimen signaalin kantamaa jouduin ajamaan alkupisteestä 3,2 kilometriä, kunnes signaali katosi kokonaan. Antennin toimintaa testattiin myös Alfa -wlan-modeemin avulla. Testissä oli tavoitteena havaita autot, joissa oli langatonverkko päällä, kuten useassa uudessa autossa on. Tulevan auton pystyi havaitsemaan langattoman verkon skannauksen avulla usean sadan metrin etäisyydeltä. Vertailuna Alfa omalla antennilla havainto saatiin maksimissaan sadan metrin etäisyydeltä.



Kuva 10. HackRf one(Hellberg 2020).

Lennoxin kyydissä olevan SDR-radion käyttö täytyi tietenkin toteuttaa etänä. Raspberry pi -pienoistietokoneelle asennettavat Soapy SDR-, Soapyremote- ja SoapySDRUtil-ohjelmistot mahdollistaa SDR-radio etäkäytön toisella Linux-pohjaisella tietokoneella. Yhteys muodostettiin samoin kuin edellä mainitun UavCast pro-ohjelmiston kanssa. Dynaamisena DNS-palveluna käytettiin Remote.it-palvelua.

SoapySDR-, Soapyremote- ja SoapySDRUtil -asennuksien myötä Raspberry pi- ja Hackrf one -laitteista muodostuu verkkoresursseja, joita voidaan käyttää etänä kuten verkkotulostinta. SDR-radion käyttöohjelmistona käytettiin GNU-Radio Companion -ohjelmistoa, jolla voidaan graafisella käyttöliittymällä ohjelmoida haluttu radiovastaanotin. Ohjelmistolla voidaan toteuttaa hyvinkin monimutkaisia radiolaitteita (GnuRadio.org 2020.) Kuvassa 11 on esimerkki toteutuksesta.

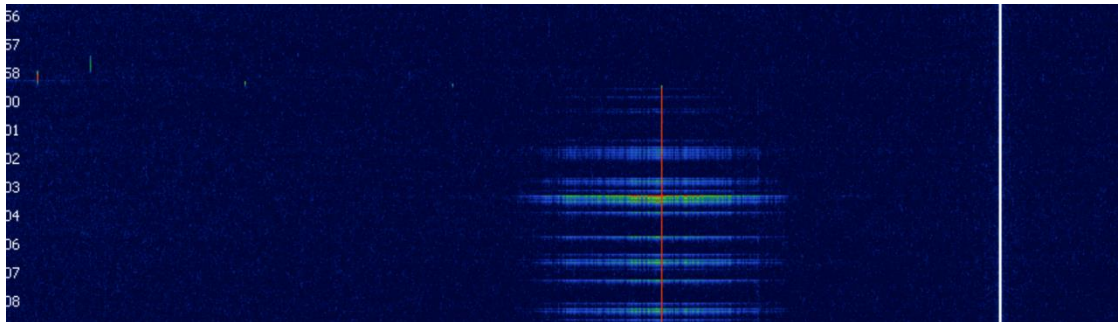


Kuva 11. GNU Radio Companion (GnuRadio.org 2020).

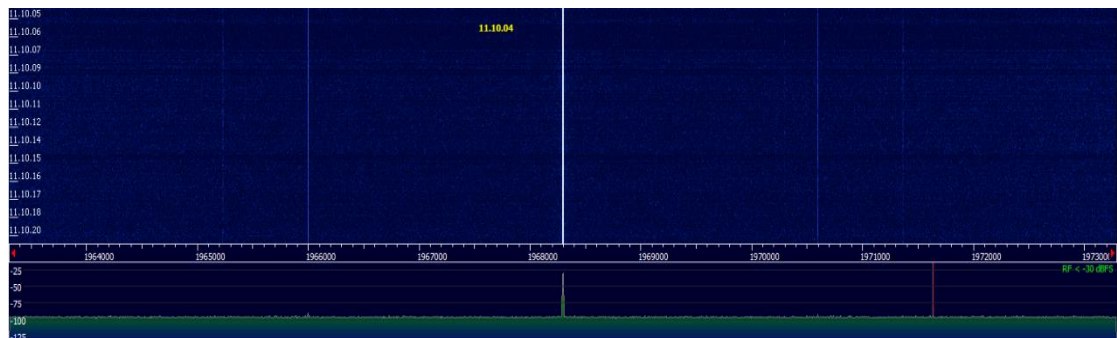
GNU Radio Companion on open source pohjainen ohjelmisto, joka on toteutettu Python ohjelmointikielellä. Ohjelmiston käyttäminen vaatii hieman Python kielen tuntemusta säädettäessä eri ominaisuuksia mutta suurta koodaamisen osaamista ei tarvita.

Kuten LTE-modeemi testauksessa testit jouduttiin suorittamaan ilman lentotoimintaa. Laitteisto oli jälleen auton kyydissä, jota käytettiin etänä. SDR-radion käytössä viive tai ajoittainen verkkoyhteyden huonous ei haittaa. Testeissä kartoitettiin GSM- ja wifi-signaalien kantamaa. GSM-signaalin kantamaa kartoitettiin vain syrjäseudulla johtuen kaupunkialueilla olevien GSM-puhelimen suuren käytön aiheuttama signaalien suuri määrä. Kaupunki alueella voitiin todentaa mistä, suunnasta mikäkin signaali oli lähtöisin, mutta signaalin yksilöiminen johonkin tiettyyn laitteeseen oli näillä antenni ja laite toteutuksilla mahdotonta. Sama ongelma pelkän signaalin havainnon kanssa tuli eteen wifi-signaalien kanssa, joita on GSM-signaalejakin enemmän. Paras tapa kaupunki alueella oli Wifi signaalien osalta toteuttaa perinteistä WarDriving menetelmää, käyttäen Alfa-modeemia ja suuntaavaa antennia.

7.5 Signaalien kartoitus



Kuva 12. GSM signaali lähtö tilanteessa.



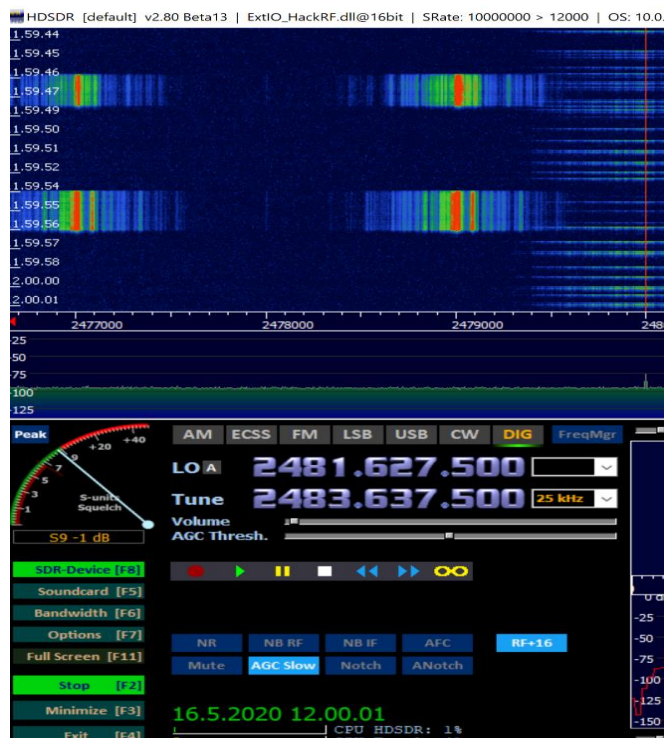
Kuva 13. GSM signaalit(Hellberg 2020).

Syrjäseudulla laitteistolla kyettiin paikantamaan GSM- ja wifi-signaalilähteitä. Ilmasta tehtynä paikannus olisi ollut huomattavasti nopeampaa kuin autolla ajaen. Toteutuksessa etäkäyttöä sovellettiin kuten laitteisto olisi ollut ilmassa. Pilottia kuvaavan kuskin lisäksi tarvittiin laitteistoa käyttävä operaattori, joka ohjeisti kuskia ajamaan signaalin kannalta oikeaan suuntaan. Lentäen tämä olisi ollut mahdollista toteuttaa pelkän pilotin toimin.

GSM-signaalien kartoituksessa tehtiin selvitys signaalien kantamasta. Kuvassa 12 näkyy lähtötilanteessa oleva yksittäinen GSM-signaali. Kuvassa 13 näkyy neljä erillistä GSM-puhelinta 3, kilometrin etäisyydeltä. Keskellä oleva valkoinen viiva on SDR-radion itse aiheuttama signaalijälki.

Testi toteutettiin lähtemällä taajamasta siirtyen kauemmaksi pitämällä silmällä kuvassa näkyviä neljää signaalia. Antennia käännettiin kohti signaalilähdettä, jotta saatiin selville signaalin maksimi kantama. Testialueen maasto oli lähtöpisteestä jatkuvasti nousevaa, korkeuseroa kolmen kilometrin matkalla tuli

noin 60 metriä, joten suuria maastoesteitä ei testin aikana mittalaitteen ja signaalilähteiden väliin tullut.



Matkapuhelinverkon toimintaa testattiin myös Sodankylä-Muonio -välisellä tieosuudella. Havainnot olivat oletuksesta poikkeavat. Ennen testin suorittamista oli odotuksena verkkojen olevan huonot aina mitä kauemmaksi asutuksesta siirytään. Näin ei kuitenkaan ollut. Verkkojen toiminta oli syrjäisimmillä alueilla parempi kuin lähempänä asutuksia. Syy tähän erikoiseen tulokseen selvisi keskustellessa

Kuva 14. Bluetooth(Hellberg 2020).

paikkakuntalaisten kanssa. Alue on porojenhoitoaluetta, jonka johdosta operaattorit ovat suunnanneet linkkien lähetykset alueille, joilla on tarvetta matkapuhelimien käytölle.

Signaalilähteen löytämisen testaamisessa käytettiin wifi -yhteyspistettä signaalilähteenä. Tämä testi toteutettiin ilman GNU Radio Companion:in etäkäyttöä. Toteutus tehtiin taas autolla SDR-radion Vivaldi -antennin yhdistelmällä. Ohjelmistona käytettiin Windowspohjaista HDSDR-ohjelmistoa. Ohjelmisto on toiminnaltaan hyvin samanlainen kuin GNU Radio Companion mutta, täysin graafisella käyttöliittymällä. Etsittävän signaalin löytäminen autolla verrattuna ilmasta suoritettavaan etsintään osoittautui huomattavasti vaikeammaksi. Lentäen maastoesteet eivät estä etsintäkehän pienentämistä suoraviivaisesti, mutta autolla suoritettuna täytyi edetä tiestön mukaan. Tästä johtuen testin tulos ei ole verrattavissa ilmasta käsin suoritettavan etsinnän kanssa. Testin tulokset olivat maasta suoritettuna kuitenkin erittäin lupaavat. Signaalilähteen löytäminen vei toki aikaa tiestön takia mutta, kohteen löytyminen onnistui tästä

huolimatta. Ajoneuvossa ei ollut wifi -ominaisuuksia eikä näin ollen wifi-taajuudelle ole mahdollista aiheutua vääriä signaaleja. Auton sammuttamisen ja uudelleen käynnistämisen yhteydessä ilmaantui kuitenkin vahva signaali lähelle etsittävän kohteen signaalia. Kuvassa 14 näkyy oikealla etsittävän kohteen signaali ja vasemmalla kahdessa rivissä vahva signaali. Ajoneuvon sammuttaminen katkaisi signaalit välittömästi mutta ajoneuvon virran kytkeminen päälle palautti signaalin. Signaali kuitenkin loppui 15 sekunnin jälkeen eikä palautunut takaisin ennen edellä mainitun toimenpiteen toistoa. Signaali lähteeksi paljastui autossa olevan radion Bluetooth, joka kytkee lähetyksen hetkeksi päälle auton virtojen päälle kytkemisen jälkeen.

Tutkimuskysymykseen, voidaanko UAV -lennokkia käyttää tietoturvan työkaluna, edellä mainittu Bluetooth tapaus on hyvä esimerkki, kuinka pienestä voi olla kiinni signaalin havaitseminen. Lennokilla haluttua aluetta kiertämällä ja taajuusaluetta seuraamalla voidaan löytää hyvin lyhyitäkin signaaleja. Auton ovien avaamisen suorittava signaalilähetys kestää noin 2 sekuntia. Myös tämän löytäminen on täysin mahdollista testeissä käytettyjen laitteistojen avulla. Lähettimien löytämien ilmasta käsin on huomattavasti helpompaa kuin maatasolta. Signaali lähteiden paikantaminen on myös tarkempaa vapaan liikkumisen ansiosta.

7.6 Autonominenlento



Kuva 16. Litchi(Hellberg 2020).

Autonomiseen lentotestiin käytettiin Litchi -ohjelmistoa, jolla saatiin DJI Mavic Air lentämään autonomisesti ennalta suunniteltua reittiä. Tätä ominaisuutta ei DJIn tarjoamassa ohjelmistossa ole. Tämän testin tarkoituksena oli saada selville Mavic Airin lähettämää signaalia näkyviin käyttäen SDR -radiota. Kuvassa 17 näkyy Litchi -ohjelmiston lentosuunnitelma vaihe. Tehdyn reitityksen mukaan lennokka lentää annetun tehtävän. Tehtävä tehtiin tarkoituksella pidemmäksi kuin maksimilentoaika itse lennokilla on. Näin saatiin aiheutettua autonominen kotiinpaluu.

Testin suorituspaikan ympäriltä havaitut muut näkyvät verkkojen signaalit saatiin rajattua helposti pois niiden vähyyden vuoksi. Testin tuloksena saatiin tieto, onko mahdollista paikantaa Mavic Air pelkän taajuuden seuraamisella, häiritä lennokin ja ohjaimen välistä yhteyttä ja kuinka tämä vaikuttaa autonomiseen lentoon. DJIn valmistajien laitteiden tietoturva on tunnetusti hyvällä tasolla mikä, tuli esiin myös testin aikana. Käyttäen 2.4 GHz ja 5.8 GHz alueita sen mukaan kumpi on ohjelmiston mielestä parempi vaihtoehto juuri sillä hetkellä. Testissä tämä tuli esiin reitin kulkiessa metsän takana. 5.8 GHz taajuus hävisi SDR-radion taajuus spektristä. DJIn -laitteet myös paritetaan ohjaimen, jonka johdosta toisella ohjaimella ei voida vaikuttaa toimintaan. Häirinnän mahdollisuus on kuitenkin suuri. Autonomisesti tehtävä lentotehtävä poistaa taajuushäirinnän aiheuttamat ongelmat. Vaikka ohjaimen ja lennokin välinen yhteys menee poikki, hoitaa lennokka annetun lentotehtävän loppuun tai palaa lähtöpisteeseen akun varauksen laskiessa liian alhaiseksi.

Ilman autonimisen lennon käyttämistä taajuusalueelle lähetetty häirintäsignaali aiheuttaa yhteyskatkoksen lennokin ja ohjaimen välillä. Tämä tulee esiin hyvin nopeasti käyttöliittymän ilmoituksella yhteyden katkeamisesta. Lennokin toiminta tämän jälkeen riippuu täysin siitä mikä on laitettu asetukseksi mahdollisen yhteyskatkoksen jälkeen. Tämän testiosion aikana käytettiin hoover -asetusta. Tämän asetuksen ollessa päällä lennokka jää paikalleen odottamaan yhteyden palautumista.

Autonomisesti toimivien lennokkien ohjaustaajuuden häirintä ei siis vaikuta lentotehtävän suorittamiseen. Vain GPS-signaalin katoaminen aiheuttaa lennokin poistumisen reitiltä riippuen asetetuista asetuksista. Opinnäytetyötä edeltä-

neillä testeillä olen testannut Ardupilot-järjestelmällä toimivan lennokin toiminnan juuri samanlaisessa tilanteessa. Toiminta ei eroa DJIn valmistamista laitteista. Kiinteäsiipisen testeissä käytetyn lennokin asetuksena on GPS-signaalin kadotessa jatkaa stabiloitua lentoa suoraan määritellyn ajan. Tämän ajan umpeuduttua alkaa lennokka laskemaan lentokorkeutta ja nopeutta lopulta tulen maahan. GPS -signaalin häirintää korkealla lentävään lennokkiin on lähes mahdotonta toteuttaa kaupallisilla laitteilla. Viranomaisilla on GPS-häirintään mahdollistavat laitteet mutta, näiden laitteiden saamisen muiden käyttöön on hyvin epätodennäköistä.

7.7 Magneettikenttä



Kuten laitteistojen esittelyosiossa tuli esiin että, matkapuhelimien magneettikenttäänanturit ovat melko eroavaisia eri puhelinvalmistajilla. Matkapuhelimien magneettikenttä anturit toimivat vain kahdella akselilla, joten puhelimen ollessa muussa asennossa kuin vaakatasossa arvot heittävät rajusti. Kuvassa 16 on Bittium Tought Phone 2 -puhelimien antamaa dataa magneettisensorilta. Vertical component näyttää vasemmassa reunassa alhaista nT -lukemaa, kun keskellä näkyy selkeästi suurempi nT -arvot. Näissä kohdissa puhelimen asento muutettiin vaakasuorasta pystyyn ja ylösalaisin.

Kuva 15. Magneettianturin luvut(Hellberg 2020).

PNI mm module -antureiden herkkyys on huomattavasti parempi. PNI moduulin etuna on myös yhdeksänakselinen kiihtyvyyssanturi, jolla saadaan hyvin tarkasti selville voimien suunnat. Yhdistettynä herkkään magneettikenttä sensoriin saadaan kokonaisuus, jonka avulla on mahdollista saavuttaa 10 senttimetrin tarkkuus paikannuksessa. Tämän tutkimuksen aikana navigointia PNI

mm modulen avulla päästiin testaamaan vain maastossa liikkuen. Näiden tulojen perusteella navigoinnin avustaminen ja jopa hoitaminen kokonaisuudessaan on mahdollista mutta, vaatii vielä kehittämistä ja testaamista.

8 LAKIEN VAIKUTUKSET TOIMINNALLE

Toimittaessa radiolähettämiin ja ilmailuun liittyvien asioiden parissa tulee esiin lakien vaikutus toteutukseen. Tässäkin tutkimuksessa kaikkia alkuvaiheen suunniteltuja testauksia ei voitu toteuttaa. Viestintä- ja liikenneministeriön kautta on mahdollista anoa tietyissä tapauksissa lyhytaikaisia erikoislupia kuten matkapuhelinverkon käyttöä ilma-aluksessa. Matkapuhelinverkon osalta luvan saaminen edellyttää viranomaistahon osallistumista, jota tässä tutkimuksessa ei mukana ollut. Suomessa tehtiin kevään 2020 aikana tutkimus, jossa tutkittiin LTE-verkon käyttöä drone -laitteiden viestintäkanavana. Kuten tässäkin tutkimuksessa, tuli myös tutkimuksen tekijöille lakiasia vastaan. *Ammattikorkeakoulu Centrian Ylivieskan kampuksella on testattu drone-koptereiden lennättämistä 4G- ja 5G-matkapuhelinverkkojen kautta. Tulevaisuudessa drone-koptereita voidaan ohjata myös matkapuhelinverkkoja hyödyntäen. Tänä päivänä se on vielä kiellettyä, mutta määräysten uskotaan muuttuvan lähitulevaisuudessa* (Uusiteknologia.fi 2020.)

Tietoturvaan liittyvissä tutkimuksissa radiotaajuuksia pääosin vain vastaanotetaan. Verkkotaajuuksien kattavuuden tai langottomien laitteiden etsintä ei aiheuta tarvetta signaalin lähettämiseksi, joten tämän tyyppiseen lait eivät vaikuta. Kyse on kuitenkin vain signaalien kartoituksesta. Jos signaaleja aletaan myös purkamaan on, syytä tutustua laki asioihin huolella. GSM ym. vastaavien salattujen signaalien purkaminen on kiellettyä. Signaali -kartoituksien toteuttaminen yleistyy jatkuvasti. Useat taajuusalueet alkavat olla tiheään asutulla alueella tukossa, jolloin sopivimman kanavataajuuden löytäminen etenkin teollisuuden tarpeisiin on tärkeää.

Heinäkuussa 2020 tulee voimaan EU:n uusi asetus koskien lennokkitoimijoita (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Asetuksen myötä säännöt tiukkenevat

ja tulevat olemaan koko EU:n alueella samat. Tähän päivään mennessä jokaisella maalla on ollut omat sääntönsä, jotka ovat aiheuttaneet epäselvyyksiä etenkin matkailijoille, jotka kuljettavat kuvauskoptereitaan mukana matkoilla. Asetuksien päätarkoituksena on selkeyttää asioita sekä lisätä lennättäjien vastuuta lennon tapahtumista. Rekisteröintivelvollisuudella saadaan pidettyä kirjaa, kuinka paljon lennättäjiä todellisuudessa on. Toki kaikki harrastajat tuskin tulevat tätä ilmoitusta tekemään mutta, ammatikseen lennättäjät varmasti tekevät rekisteröinnin. Radiotaajuuksien osalta muutoksia ei ole tulossa. Tämä olisikin mahdotonta toteuttaa, koska kaupalliset laitteet ovat olleet vuosia samoilla taajuuksilla, joten näiden jo käytössä olevien taajuuksien rajoittamien ei olisi mahdollista.

Kuva 17. Kategoriat (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020).

Avoim A1	Avoim A2	Avoim A3
CE merkinnät: C0 ja C1 Maksimipaino: 900 grammaa	CE merkinnät: C2 Maksimipaino: 4 kg	CE merkinnät: C2, C3 ja C4 Maksimipaino: 25 kg
Lentäminen sallittu yksittäisten ihmisten yli, mutta ei ihmisjoukkojen päällä	Lentäminen sallittu turvallisella etäisyydellä ihmisistä	Lentäminen sallittu kaukana ihmisistä ja asutuksesta
Koulutusvaatimus: Yli 250 gramman laitteen kauko-ohjaajan tulee olla suorittanut verkkotentti	Koulutusvaatimus: Verkkotentti ja valvottu lisäteoriakoe	Koulutusvaatimus: Verkkotentti

Tulevan asetuksen myötä lentolaitteet jaetaan eri kategorioihin. Avoim A2 ja A3 ovat luokkia, joiden painoluokat käsittävät suurimman osan ammattikäyttöön soveltuvat lennokit. Tämänkin tutkimuksen testilentojen suoritukseen käytetyt laitteet kuuluvat luokkaan A3, poikkeuksena automisen lennon seurantaan keskittyneet testi lennot, jotka toteutettiin DJI Mavic Air -kopterilla, joka menee kategoria A1 -laitteisiin. Aikaisemmin lentotyötä tehneet saavat jatkaa nykyisin voimassa olevan kansallisen ilmailumääräyksen OPS M1-32 luvun 3 mukaisesti vielä 1.7.2021 asti. Myös jo poikkeusluvalla lentotyötä tekevät saavat tehdä työtään lupaan kirjatun voimassaolon mukaisesti.

Ongelmakohtana uudessa asetuksessa on CE-merkintä vaatimus. Asetuksen julkistamisen yhteydessä pääsin kysymään tämän pykälän vaikutuksista prototyyppien valmistamiseen ja koelentotoimintaan. Kehittämisen yhteydessä CE-merkintää ei vaadita mutta, ennen lentotoiminnan aloittamista CE-mer-

kintä on hankittava. Tämä vaikeuttaa huomattavasti prototyyppien toteuttamista ja testaamista. CE-merkinnän hankinta on aikaa ja rahaa vievä prosessi. Pienien prototyyppien kohdalla kulut nousevat kohtuuttomiksi. TrafiComin ohjeistuksen mukaan näin on kuitenkin toimittava. Asiasta on jätetty selvityspyyntö TrafiComin edustajalle mutta, tutkimuksen kirjoittamisen ajankohtana vastausta ei vielä ole saatu. Myös tämän tutkimuksen prototyyppi lennokkien osalta olisi heinäkuun jälkeen hankittava CE-merkintä, jos haluamme lentotoimintaa jatkaa.

9 ANALYSOINTI

Tutkimusta tehdessä tuli uutta tietoa radioteknisten laitteiden turvallisuudesta ja niiden käyttämisestä tietoturvatyökaluina. Lennokkien käyttö tietoturvallisuuden työkaluna on mahdollista, mutta lakien osalta hieman hankalaa. Suurempien alueiden ja eri taajuuksien käytön kartoittamiseen tarvittava laitteisto on väkisin A3 -luokkaan kuuluva, jolloin vastaan tulevat EU:n asetukset, etenkin CE-merkinnän osalta. Suurien alueiden tai tarvittavien laitteiden painon aiheuttamat vaatimukset lennokin koolle ja lentoajalle aiheuttavat lennokin oman painon nousun helposti luokkaan A3.

Matkapuhelinverkon käyttämisen estyminen lennokin järjestelmien viestintäkanavana aiheuttaa pitkien lentoetäisyyksien osalta ongelman datan reaaliaikaiseen saamiseen maa-asemalle. Mukana testeissä ollut HereLink -järjestelmä poistaa osan tästä ongelmasta mutta, vain videokuvan ja lentotelemetrian osalta. HereLink-järjestelmällä ei tutkimuksen kirjoittamisen ajankohdalla voida lähettää edellä mainittujen asioiden lisäksi muuta dataa. HereLink Airunit -yksikköön voidaan liittää yksi kamera, joka kuvaa esimerkiksi SDR-radiota käyttävän tietokoneen näyttöä, jolloin data saadaan reaaliaikaisena maa-asemalla, mutta vain videokuvana, ei uudelleen käytettävänä datana. HereLink on vielä betavaiheessa oleva kaupallinen tuote jonka, kehitys toivottavasti jatkuu.

Kysymykseen, voidaanko maan magneettikenttää käyttää navigoinnissa, jäi vielä hieman epävarmaksi. Testauksien perusteella kyllä, kun käytetään vastaavaa sensorifuusio piiriä kuin PNI mm Module. Kyseisen piirin käyttö on täysin mahdollista mutta sovelluksen toteuttamien vaatii paljon lisää ohjelmointityötä ja testejä ennen kuin sitä voidaan hyödyntää luotettavasti. Tämän tutkimuksen aikana PNI mm Module -piirin hinta putosi reilusti, joka todistaa piirin

kysynnän nousseen. Joten tulevaisuudessa saatamme toteuttaa navigointia myös ilman satelliittipaikannusta.

10 JATKOKEHITYS

Osa tutkimuksen aikana esiin tulleista asioista ovat lisätutkimuksen ja kehityksen avulla ratkaistavissa. Tiedonsiirron kehittäminen tietoturvan osalta luotettavaksi on UAV-laitteiden kehityksen kannalta tärkeää. Tutkimuksessa saatiin tuloksia tämän hetken ratkaisuksista. Kaikkien näiden ratkaisujen tietoturvan taso ei ole kaikkeen lennokkien mahdollistamaan toimintaan riittävä. Lisätutkimuksen ja kehittämisen kohteena ovat eri järjestelmien tiedonsiirron turvaaminen riittävälle tasolle, jotta UAV-lennokkien käyttö turvallisesti tulevaisuuden työkaluina olisi mahdollista. Jatkokehitystä vaativat myös lennokkiin liitettävät työkalut ja niiden käyttö tietoturvallisuuden kartoittamisessa. Tutkimuksessa käytössä ollut SDR-radio mahdollistaa muitakin toimintoja kuin tässä tutkimuksessa toteutetut. 5G-verkon laajentumisen kannalta on aiheellista kehittää taajuusalueiden kartoittamiseen soveltuvaa laitteistoa.

Tutkimuksen kohteena oleva VTOL-lennokin kehittämien kaupalliseksi tuotteeksi mahdollistaa monipuolisen työkalun, jonka käyttö ei rajoitu vain tietoturvallisuuden työkaluksi. Kiinteäsiipisten UAV-lennokkien ja koptereiden käyttö tulee tulevaisuudessa lisääntymään. Näiden lennokkien kilpailijaksi VTOL-periaatteella toimiva lennokki on varteen otettava vaihtoehto, jonka jatkokehittäminen on tuo lisää uusia käyttökohteita drone-ilmailun alalle.

Navigoinnin mahdollistaminen PNI mm Module -sensorifuusio piiriä hyödyntäen mahdollistaisi uusien sovelluksien käytön niin maalla, merellä kuin ilmasakin. Kaupunkialueiden navigoinnin ongelmaksi havaittuun, signaalien heikkoon laatuun on mahdollisuus saada varmemmin toimiva ratkaisu. Maat, joiden tieverkostossa on myös tunneleita, tutkimuksessa tutkittu navigoinnin toteutus mahdollistaa toimivan paikannuksen. Uuden tavan navigoida vaatii laitteiston ja sovelluksien edelleen kehittämistä, jotta toiminta saadaan luotettavalle tasolle.

Lakeihin liittyvät ongelmat, joiden myötä kehitykset jatkuminen ei ole mahdollista, ovat asioita joihin kehitysorganisaatiot eivät voi paljon vaikuttaa. Yhteistyötä ja keskustelua viranomaisten kanssa on syytä tiivistää, jotta suunnitellut tulevaisuuden kuljetuksista sekä muiden drone-ilmailun mahdollistavien toimien toteuttamisen olisi mahdollista.

LÄHTEET

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020. Kauko-ohjattujen lennokkien ja ilma-alusten (UAS/RPAS/Drone) taajuudet ja radiolupa-asiat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/ilmailu/kauko-ohjattujen-lennokkien-ja-ilma-alusten-uasrpasdrone-taajuudet-ja-radiolupa> [Viitattu 10.5.2020].

Heli Engading, 2019. Herelink HD Video Transmission System, WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.heliengadin.com/products/herelink-hd-video-transmission-system> [Viitattu 12.5.2020].

OXTS, 2019. What is an inertial navigation system? Industry Article. Saatavissa: <https://www.oxts.com/what-is-inertial-navigation-guide> [Viitattu 18.5.2020].

AIS, 2017. GEN 2.2 Lyhenteitä. WWW-dokumentti. Saatavilla: https://www.ais.fi/ais/aip/ge/EF_GEN_2_2_EN.pdf [Viitattu 18.5.2020].

Agupubs, 2004. Study and design of a broadband coplanar waveguide--fed-modified folded slot antenna. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2003RS002964> [Viitattu 16.4.2020].

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020. Määräyksen 15 AP/2020 M perustelut ja soveltaminen. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/MPS%2015AP2020.pdf> [Viitattu 8.5.2020].

Changpuak, 2019. Antipodal Vivaldi Antenna Designer. WWW-dokumentti. Saatavilla: https://www.changpuak.ch/electronics/Antipodal_Vivaldi_Antenna_Designer.php [Viitattu 9.4.2020].

PNInc, 2018. Ultra-low-power 9-axis motion tracking. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.pninc.com/mm-module> [Viitattu 9.4.2020].

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2019. Radiolupien myöntäminen 5G-testikäyttöön. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/radiolu-pien-myontaminen-5g-testikayttoon> [Viitattu 15.5.2020].

Christian Wolff, Tapered Slot Antenna (Vivaldi- Antenna). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/Tapered%20Slot%20Antenna.en.html> [Viitattu 9.4.2020].

GnuRadio.org, 2020. Tutorials. Saatavissa: <https://wiki.gnuradio.org/index.php/Tutorials> [Viitattu 2.5.2020].

Andrew Back, 2018. Building a Remote SDR with the Pi 3 Model B+ and SDRplay RSP2. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rs-online.com/designspark/building-a-remote-sdr-with-the-pi-3-model-b-and-sdrplay-rsp2> [Viitattu 12.5.2020].

Yuandan Dong, Jun H. Choi, Tatsuo Itoh, 2018. Vivaldi Antenna With Pattern Diversity for 0.7 to 2.7 GHz Cellular Band Applications. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.semanticscholar.org/paper/Vivaldi-Antenna-With-Pattern-Diversity-for-0.7-to-Dong-Choi/de837a2d133d08f0548bb808b939d7c906cd723d> [Viitattu 12.5.2020].

Cisco, 2007. Antenna Patterns and Their Meaning. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html [Viitattu 8.4.2020].

Droneinfo, 2020. EU:n droneasetus. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.droneinfo.fi/fi/eu_dronesaannot [Viitattu 15.5.2020].

Greatscottgadgets, 2016. HackRf one open source hardware for software-defined radio. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://greatscottgadgets.com/hackrf/> [Viitattu 18.4.2020].

Uusiteknologia-fi, 2020. Droneja voidaan ohjata matkapuhelinverkon kautta. Saatavissa: <https://www.uusiteknologia.fi/2020/01/14/droneja-voidaan-ohjata-matkapuhelinverkon-kautta> [Viitattu 2.5.2020].

KUVALUETTELO

- Kuva 1. Tutkimuksen vaiheet (Hellberg 2020)
- Kuva 2. Navigointitietokoneen toimintaperiaate (OXTS 2019)
- Kuva 3. Dipoli antennin säteilykuvio (Cisco 2007)
- Kuva 4. Omnidirectional antennin säteilykuvio. (Cisco 2007)
- Kuva 5. Single Patch antennin säteilykuvio (Cisco 2007)
- Kuva 6. UavCast Pro käyttöliittymä (Hellberg 2020)
- Kuva 7. Mission Planner keinohorisontti. (Hellberg 2020)
- Kuva 8. Vivaldi antenni (Hellberg 2020)
- Kuva 9. Slot, Vivaldi antenni(Yuandan Dong, Jun H. Choi, Tatsuo Itoh, 2018)
- Kuva 10. HackRf one(Hellberg 2020)
- Kuva 11. GNU Radio Companion (GnuCompanion 2020)
- Kuva 12. GSM signaali lähtö tilanteessa. (Hellberg 2020)
- Kuva 13. GSM signaalit (Hellberg 2020)
- Kuva 14. Bluetooth (Hellberg 2020)
- Kuva 15. Magneettianturin luvut (Hellberg2020)
- Kuva 16. Litchi (Hellberg 2020)
- Kuva 17. Gategoriat (Traficom 2020)