



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Olavi Laiho

Automaattisen antenninsuuntaus- järjestelmän hyödyntäminen drone- harrastuskäytössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

8.2.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Olavi Laiho Automaattisen antenninsuuntaus- järjestelmän hyödyntäminen drone-harrastuskäytössä 29 sivua 8.2.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Autosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Pasi Kovanen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli tutkia, miten antenninsuuntausjärjestelmää käyttämällä voitaisiin korvata ohjauslaitteissa käytettävä ympärisuuntaava antenni suunnattavalla antennilla ja niin parantaa liikkuvan laitteen langattoman verkkoyhteyden laatua ja kantamaa. Työn tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa kyseinen järjestelmä ja selvittää, onko sen käyttö hyödyllistä ja käytännöllistä erityisesti drone-harrastuksen näkökulmasta.</p> <p>Työn aluksi valittiin, minkätyyppistä antennia haluttaisiin käyttää, sekä selvitettiin, mitä valitun antennin suuntaamiseen tarvittaisiin ja olisiko suuntaus edes mahdollista. Tavoitteen mukainen järjestelmä vastaanottaisi sijaintitietoja antenninsuuntausjärjestelmään yhdistetyltä laitteelta ja saatujen tietojen avulla suuntaisi suunnattavaa lähiverkkoantennia kohti yhdistettyä laitetta. Tämän jälkeen järjestelmä suunniteltiin ja rakennettiin. Tämä sisälsi järjestelmän mekaanisen ja elektronisen suunnittelun ja kokoonpanon sekä järjestelmän ohjelmiston ja käyttöympäristön suunnittelun ja ohjelmoinnin.</p> <p>Tavoitteen mukainen järjestelmä saatiin toteutettua. Valmistettu ohjelmisto toimi suunnitelusti, mutta antennin suunnan tarkkailuun käytetyn kompassimoduulin ongelmien takia suuntaus epäonnistui käytännössä. Järjestelmää testattiin kuitenkin käytännössä sekä simuloidusti rakennetun ohjelmiston avulla.</p> <p>Suoritettujen testien perusteella järjestelmä todettiin liian työlääksi ja virheherkäksi käyttää. Työläys johtui useista ennen käyttöä tarvittavista kalibrointi- ja esivalmisteluvaiheista. Suurimmaksi virheherkkyydeksi todettiin suuntauksen pysähtyminen mahdollisen yhteyskatkoksen tapahtuessa, joka johtaisi katkenneen yhteyden palauttamisen vaikeuteen.</p> <p>Työn idea todettiin mahdolliseksi toteuttaa mutta sopimattomaksi tutkittuun harrastekäyttöön. Tulevaisuudessa esiintyviä käyttötarkoituksia varten suunniteltiin kehitysehdotuksia, jotka korjaisivat vastaan tulleita ongelmia.</p>	
Avainsanat	Antenni, GPS, automaatio, drone

Author Title	Olavi Laiho Utilizing an automatic antenna alignment system in hobby drone use
Number of Pages Date	29 pages 8.2.2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Electrics
Instructors	Pasi Kovanen, Senior Lecturer
<p>The objective of the Thesis was to investigate how the omnidirectional antenna used in Wi-Fi drone controllers could be replaced with a directional antenna by using an automatic antenna targeting system and thus improve the connection range and quality. The goal was to design and construct the system and estimate its usefulness from a drone hobby point of view.</p> <p>First it was determined what type of an antenna should be used and what would it need to construct a targeting system for it. The designed system would receive location data from the device connected to the system and use the received data to turn the antenna into the correct position. After creating the basic concept of the device, it was designed and constructed. This included the electrical and mechanical design and construction as well as the programming of its microcontroller and user interface.</p> <p>The system was built as designed and the software worked as intended, but the compass module used to monitor the orientation of the antenna didn't work as intended causing the field testing to fail. System could still be tested both normally and simulated using the software.</p> <p>The system was declared too cumbersome and prone to errors to be used in drone hobby use. The multiple calibration steps before use made using the system troublesome. If the connection was lost during use the system would lose its ability to target making reconnecting almost impossible.</p> <p>The initial idea of the thesis was found possible to put into practice, but unfit for the use case in question. Development targets were listed that would fix problems encountered in a future use case.</p>	
Keywords	Antenna, GPS, automation, drone

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Antennityypit ja sovellukset	1
2.1	Yleiset antennityypit	1
2.1.1	Ympärisäteilevä antenni	2
2.1.2	Suunnattava antenni	2
2.2	Antennin ominaisuudet	4
2.2.1	Taajuus	4
2.2.2	Signaalin keila	5
3	Lähettävä laite (drone)	6
3.1	Lentokontrolleri	6
3.2	GPS ja barometri	6
4	Suuntaus	8
4.1	Suuntausdata	8
4.1.1	Barometri	8
4.1.2	GPS	8
4.2	Moottorointi ja sen ohjaus	9
4.3	Keilan koko ja tarkkuus	11
5	Järjestelmän kokoonpano	12
5.1	Antennin kiinnikevarsi	12
5.2	Servomoottorit	13
5.2.1	Kallistava servo	13
5.2.2	Kääntävä moottori	14
5.3	Virtalähteet	15
5.3.1	Moottoreiden virtalähteet	15
5.3.2	Ulkoinen tasavirtalähde	16
5.4	Järjestelmän kontrolleri	17

5.5	Kytkenät	17
5.6	Kompassimoduuli	18
5.7	Alusta	19
6	Ohjelmisto	20
6.1	Datan vastaanotto ja käsittely	21
6.2	Datan lähettäminen suuntausjärjestelmälle	23
6.3	Suuntausjärjestelmän ohjelmisto	23
7	Käyttö	24
7.1	Järjestelmän sijainnin ja suunnan kalibrointi	24
7.2	Järjestelmän käyttö	24
8	Testaus	25
8.1	Käytännön testaus	25
8.2	Simuloitu testaus	25
8.3	Testauksen tulokset	26
9	Yhteenveto	26
9.1	Tavoitteiden täytyminen	26
9.2	Kehitysehdotukset	27
9.2.1	Kompassimoduulin korvaaminen	27
9.2.2	Täyden liikkuvuuden saavuttaminen	27
9.2.3	Alkuvalmisteluiden eliminointi	27
	Lähteet	28

Lyhenteet

GPS *Global* Positioning System – Maapallon laajuinen paikannusjärjestelmä

Wi-Fi Langattoman lähiverkon standardi

USB Universal Serial Bus – Yleisesti käytetty sarjaväylä arkkitehtuuri

UART Universal asynchronous receiver-transmitter – Tyypillisesti sarjaliikennepiiri, joka muuntaa rinnakkaismuotoista tietoa sarjamuotoiseksi.

1 Johdanto

Lähiverkkoyhteyden muodostamiseen ja sen kantavuuteen vaikuttaa moni asia kuten ympäristön muodot ja esteet samoin kuin tämän verkon luovat ja siinä toimivat laitteet ja niiden antennit. Riippuen käyttökohteesta lähiverkkoyhteydeltä voidaan vaatia erityyppisiä ominaisuuksia. Voidaan yrittää maksimoida esimerkiksi vaikkapa tiedonsiirtonopeus tai kantama.

Tässä insinööriyössä tutkitaan mahdollisuutta pidentää liikkuvan laitteen yhteyttä ja kantamaa sitä ohjaavaan laitteistoon rakentamalla järjestelmä, joka automaattisesti suuntaa kohdistettavaa lähiverkkoantennia laitetta kohti.

Tarkoituksena on hyödyntää kohdistettavan antennin etuja kuitenkin aiheuttamatta erityistä työtä käyttäjälle. Rakennetun laitteiston soveltuvuutta tutkitaan erityisesti drone-harrastuskäytön näkökulmasta. Tuloksien perusteella on myös pohdittu mahdollisia jatkotutkimus- tai kehityskohteita.

2 Antennityypit ja sovellukset

2.1 Yleiset antennityypit

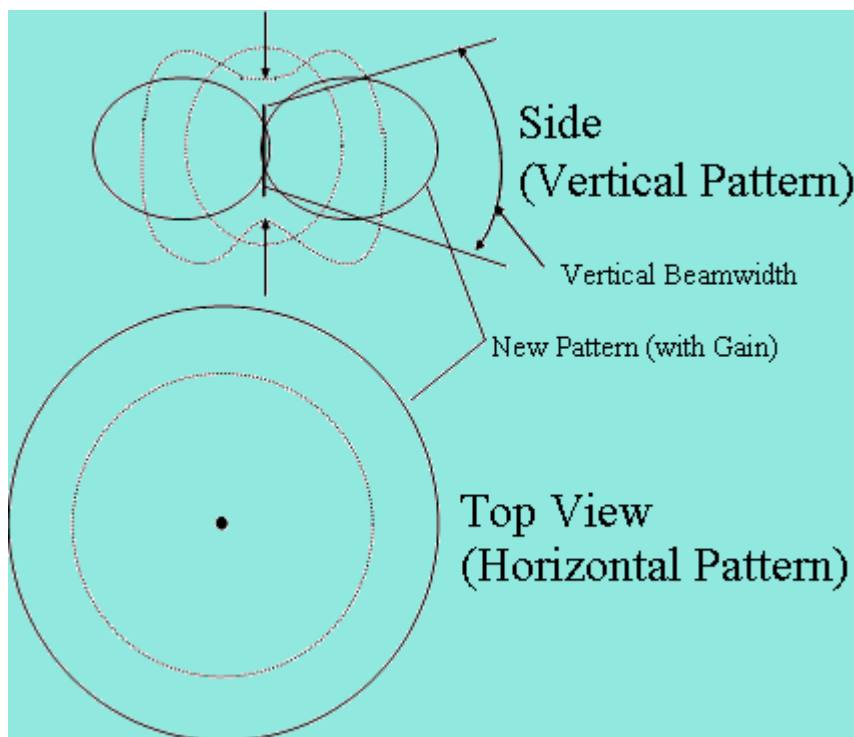
Antenni on laite, joka muuttaa johtimessa olevan mitattavan jännitetaso radioaaltoiksi. Antenni mahdollistaa myös näiden radioaaltojen vastaan ottamisen ja muuttamisen takaisin mitattaviksi jännitetasoiksi. Tämä mahdollistaa signaalien lähettämisen paikasta toiseen ilman fyysistä kytköstä. Antenneja on paljon erilaisia, ja niiden rakenteet vaihtelevat riippuen halutusta käyttötarkoituksesta ja toivotuista ominaisuuksista. Tässä työssä kuitenkin keskitytään pääosin antenneihin, joita käytetään moderneissa lähiverkko (Wi-Fi) -laitteistoissa.

Antennin tyypillä ja sen rakenteella on suuri vaikutus niiden ominaisuuksiin. Tässä työssä selvitetään muutamia antennityyppejä kuitenkin pääosin keskittyen suunnattaviin antenneihin.

2.1.1 Ympärisäteilevä antenni

Ympärisäteilevä antenni säteilee nimensä mukaisesti lähettämäänsä signaalia joka suuntaan antennin sijainnista (kuva 1). Niitä käytetään erilaisissa laitteissa, joiden sijainti ja ympäristö vaihtuu jatkuvasti ja näin ei voida tietää vastaanotettavien ja lähetettävien laitteiden suuntaa ennalta. Tällaisia antennia käytetään siis esimerkiksi älypuhelimissa ja kannettavissa tietokoneissa, kuten myös radio-ohjattavissa ilma-aluksissa, jota tässäkin työssä käytetään testilaitteena.

Ympärisäteilevän antennin etu on käytön riippumattomuus suhteessa muiden laitteiden sijaintiin. Sen heikkoutena on kuitenkin se, että se lähettää turhaan signaalia myös suuntiin, joissa vastaanottaja ei ole. Antenneissa käytettävä teho on rajallista, jolloin on tehokkaampaa lähettää signaalia vain yhteen suuntaan, mikäli mahdollista. [1]



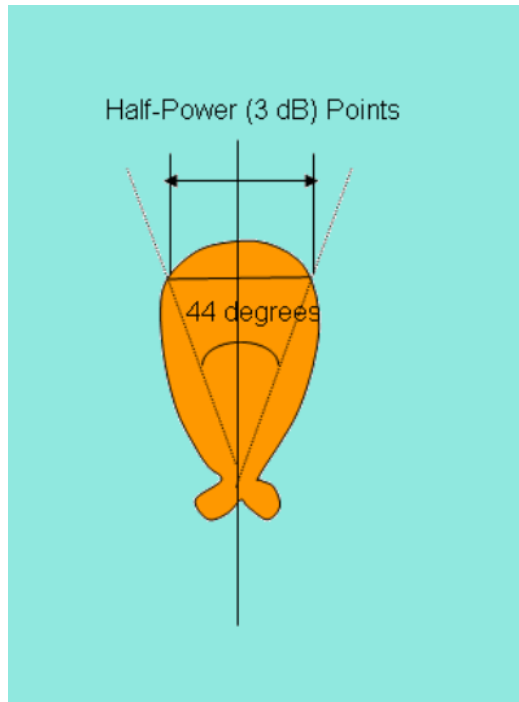
Kuva 1. Ympärisäteilevän antennin säteilykuvio [1].

2.1.2 Suunnattava antenni

Suunnattavat antennit toisin kuin ympärisäteilevät antennit lähettävät signaalia pääosin vain yhteen suuntaan (kuva 2) ja tämän takia vaativat suuntausta vastaanottavaa tai

lähettävää laitetta kohti. Tällöin kuitenkin saadaan antennin koko teho käytettyä haluttuun suuntaan. Suuntauksen tarpeellisuus kuitenkin rajoittaa käyttöä pääosin tilanteisiin, jossa antenni ja sen kanssa keskustelevala laite ovat pysyvässä sijainnissa ja antenni suunnattu oikein. On kuitenkin mahdollista suunnata antennia dynaamisesti, mikäli antenni vastaanottaa keskustelevalta laitteelta sijaintia.

Suunnattavia antennia on erilaisia, ja tyyppien eroilla on vaikutusta esimerkiksi signaali-
likeilan kokoon, joka vaikuttaa esimerkiksi suuntauksen tarkkuuteen. [1]



Kuva 2. Yksinkertaistettu kuva suunnattavan antennin säteilykuvioista [1].

Jagiantenni

Jagiantenni on suuntaava antenni, jossa antennin runkopalkkiin on asennettu poikittaisia tankoja, joista yksi on säteilijä ja muut toimivat suuntaajina. Säteilijän takana on heijastaja. Jagiantennit ovat yleisiä yksinkertaisen rakenteensa ansiosta, ja niitä käytetään esimerkiksi televisioantenneina, mutta ne ovat myös suosittuja rakenteensa takia radioharrastuskäytössä. Jagiantenneja harvemmin käytetään lähiverkkojen muodostamiseen muualla kuin harrastustoiminnassa. [2]

Sektoriantenni

Sektoriantennissa (joskus nimitetään myös paneeliantenniksi) antenni on sijoitettu paneeliin, joka toimii usein metallinen heijastinlevy, joka kerää ja kohdistaa signaalin yhteen suuntaan. Sektoriantennit ovat yleensä yksinkertaisen ulkomuotonsa takia kestäviä rakenteeltaan, ja niiden vahvan ja kohdistavan tehon ansiosta ne sopivat hyvin ulkokäyttöön. Sektoriantennit ovat lähiverkkokäytössä yleisiä suunnattavia antennija etenkin ulkokäytössä niiden helpon ulkomuodon ja ominaisuuksien takia. [3] Työssä käytetty antenni TP-LINK CPE-210 on tyypiltään sektoriantenni.

Parabolinen antenni

Parabolinen antenni on antennityyppi, joka käyttää signaalin heijastamiseen koveraa heijastin pintaa. Heijastin on usein joko verkko- tai lautasmallinen. Paraboliset antennit ovat erittäin hyviä niiden suuntausominaisuuksiltaan, mutta tämän takia ne vaativat erittäin tarkkaa tähtäystä. Paraboliset antennit sopivat hyvin pitkän matkan käyttötarkoituksiin, joissa antenni saadaan hyvin suunnattua. [4]

2.2 Antennin ominaisuudet

2.2.1 Taajuus

Antennin taajuusalueeseen vaikuttaa antennin fyysinen rakenne, ja taajuusalue puolestaan vaikuttaa antennin ominaisuuksiin. Lähiverkkoantennin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat kantama, läpäisevyys ja tiedonsiirtonopeus.

Tiedonsiirtonopeus

Tiedonsiirtonopeus tarkoittaa antennin lähettämän signaalin kykyä kuljettaa tietty määrä informaatiota jonkin ajan sisällä. Tiedonsiirtonopeuden yksikkö on tietotekniikassa yle-

sesti käytetty bittiä sekunnissa B/s tai yleisemmin nykyaikana esimerkiksi megabittiä sekunnissa MB/s. Tiedonsiirtonopeudella on suuri vaikutus siihen, millaista viestintää antennin välityksellä voidaan suorittaa. Esimerkiksi videokuvan lähettämisessä tiedonsiirtonopeudella on suuri vaikutus siihen, kuinka hyvä laatuista kuvaa on mahdollista lähettää. Tiedonsiirtonopeuteen vaikuttaa antennin käyttämä taajuus, mitä suurempi taajuus, sitä suurempi tiedonsiirtonopeus. Esimerkiksi uusimmat langattoman verkon yhteydet toimivat n. 5GHz:n taajuudella. [5]

Signaalin läpäisevyys

Signaalin läpäisevyys tarkoittaa signaalin kykyä läpäistä fyysisiä esteitä, joita vastaanottavan ja lähettävän antennin välillä saattaa sijaita. Jos este on suuri, voi tämä aiheuttaa ongelmia tiedonsiirrossa tai jopa katkaista sen. Signaalin taajuudella on vaikutus läpäisevyyteen. Mitä matalampi taajuus signaalilla on, sitä parempi on sen läpäisemiskyky yleisesti. [6]

2.2.2 Signaalin keila

Signaalin keila tarkoittaa aluetta, jolle antennin teho pääosin keskittyy. Yleensä tämä on merkittävämpi käsite suunnattavissa antenneissa, sillä ympärisäteilevät antennit yleisesti suuntavat tehonsa tasaisesti ympärilleen, joten antennin tehon tuottaman signaalin kattavuusalueen koko on merkittävämpi kuin sen suunta. Suunnattavissa antenneissa taas antenni yleensä suuntaa suurimman osan tehostaan eteensä, mutta se riippuu antennin rakenteesta. Antennin tyypin mukaan keilan kulma voi olla noin 70 asteesta jopa hyvin pieniin alle asteen kulmiin.

3 Lähettävä laite (drone)

Tässä työssä antennin kanssa keskustelevala laite on WiFi-yhteydellä ohjattava nelikopteri (drone). Jotta antennia voitaisiin suunnata kopteria kohti, täytyy kopterin jatkuvasti päivittää antenninsuuntausjärjestelmälle tieto kopterin sijainnista. Jotta tämä olisi mahdollista täytyy kopterin pystyä määrittämään oma sijaintinsa tarpeeksi tarkasti, että suuntausjärjestelmän on mahdollista pitää se antennin keilassa. Tämän mahdollistaa kopterin järjestelmään kytketty GPS ja barometrimoduulit. Lisäksi kopteriin on asennettu kamera, jonka tarkoituksena on lähettää videokuvaa, jotta kopterin lentäminen olisi käyttäjälle helpompaa.

3.1 Lentokontrolleri

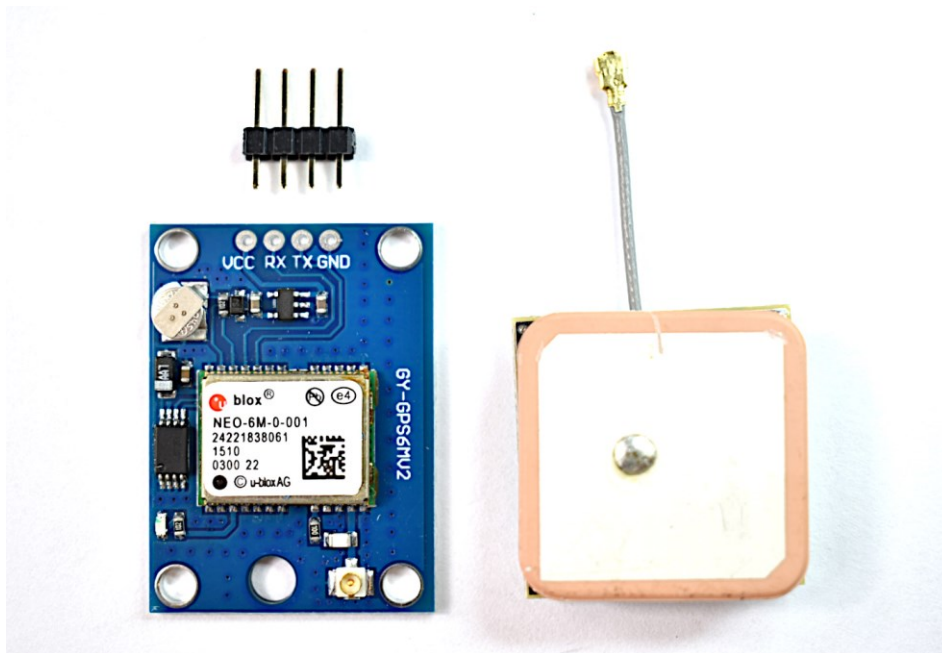
Kopterin lentologiikka hoitaa kopterin lentokontrolleri, mutta kontrollerilla ei ole sisäänrakennettua WiFi-antennia. Kopterin yhdistämiseksi WiFi-verkkoon kytkettiin siihen Raspberry Pi -pienoistietokone, joka toimii välikätenä maassa olevan WiFi-antennin ja kopterin välissä.

Työssä käytettiin itse rakennettua kopteria, joka käytti lentokontrollerina Arduinoa Multi-Wii 2.4 -ohjelmistolla. Työn kannalta olisi mahdollisesti ollut helpompaa, jos olisi mahdollista käyttää valmista kopteria, mutta sijaintidatan ja ohjauksen toteuttaminen kaupallisen valmistajan ohjelmistoon voisi olla hankalaa ja ongelmallista.

Suuntausjärjestelmää voidaan kuitenkin käyttää minkä tahansa laitteen kanssa, johon saadaan Wi-Fi yhteys ja joka pystyy välittämään sijaintitietonsa.

3.2 GPS ja barometri

GPS-moduulina käytettiin Ublox NEO-6M -moduulia (kuva 3). Se kommunikoi Arduinon kanssa käyttäen UART-protokollaa. NEO-6M-moduulin paikannustarkkuus on noin 2,5 metriä.



Kuva 3. NEO-6M-moduuli [7].

Barometrinä käytettiin BMP180-moduulia (kuva 4). Se käyttää I2C-väyläprotokollaa. Barometrin tarkkuus korkeuden mittaamiseen on noin metri.



Kuva 4. BMP180 moduuli [8].

4 Suuntaus

Jotta voitaisiin saada käyttöön suunnattavan antennin parempi teho, on antenni suunnattava tarkasti. Ilman että käytettävyys heikkenee ja käyttäjälle tulee ylimääräistä työtä, pitää suuntaus automatisoida. Tämä vaatii sen, että antenniin rakennetaan suuntausjärjestelmä. Suuntausjärjestelmän toimimiseen vaaditaan, että antennia ohjaava järjestelmä tietää antennin kanssa kommunikoivan laitteen ja antennin sijaintien suhteen. Lisäksi järjestelmässä täytyy olla moottorointi, joka voi kääntää antennia aina, kun suuntausta tarvitsee korjata.

4.1 Suuntausdata

Suuntausdatalla tarkoitetaan tarvittavia sijaintitietoja, jotka tarvitaan antennin tarkkaan suuntaamiseen. Tähän sisältyy lähettävän laitteen (drone) reaaliaikainen sijainti sekä pituus- että leveysasteina ja laitteen korkeutena. Suuntaus tapahtuu tietämällä antennin ja kopterin sijaintien suhde. Tämän vuoksi on suuntaus järjestelmälle kalibroitava sen sijainti ennen suuntauksen aloittamista.

4.1.1 Barometri

Barometri eli ilmanpaineanturi on laite, jolla pystytään mittaamaan anturin ympärillä vallitsevan ilman painetta. Koska ilmanpaine on riippuvainen korkeudesta, on barometriä mahdollista käyttää myös mittaamaan kyseisen laitteen korkeutta. Tässä sovelluksessa barometri toimii pääasiallisena korkeuden mittauksen anturina.

4.1.2 GPS

GPS on satelliittipaikannusjärjestelmä, jota käytetään useissa erilaisissa laitteissa (esim. navigaattorit). Sen avulla voidaan paikantaa maapallolla oleva GPS-laite muutaman metrin tarkkuudella. Mittaus perustuu mittaamalla signaalin kulku-aikaa vastaanottimen ja satelliittien välillä. Kun satelliitteja on tarpeeksi monta (vähintään neljä), on vastaanottimen sijainti mahdollista laskea [9].

4.2 Moottorointi ja sen ohjaus

Jotta antenni voisi kääntyä tarvittaviin suuntiin on käytettävä kahta servomoottoria sen ohjaamiseen. Toinen servomoottori sijaitsee antennin alapuolella ja pyörittää sitä ympäri oman pystyakselinsa ympäri. Toinen moottori taas kallistaa antennia ylös- ja alaspäin. Jotta saavutettaisiin mahdollisimman suuri liikkuvuus, on alapuolella olevan servon kiertoa-alue 360° ja kallistuservon 180°. Kallistuservo tunnistaa ohjatessa asentonsa servon sisäisen rakenteen ja elektroniikan avulla, mutta koska kääntöservo on vapaasti pyörivä, joudutaan suuntauksessa käyttämään apuna kompassimoduulia.

Moottorien ohjaus toteutetaan Arduino-mikrokontrollerilla, joka toimii koko suuntauslaitteen keskusyksikkönä ja on kytkettynä käyttötietokoneeseen USB-väylän kautta. Käyttötietokoneella tarkoitetaan tässä työssä tietokonetta, jota käyttäjä operoi ja käyttöympäristö ohjelmisto pyörii.

Moottorien vääntömomentin riittävyys

Jotta tiedämme minkä kokoiset ja millaiset servomoottorit järjestelmä tarvitsee, on laskettava tarvittava vääntömomentti antennin ja sen kiinnikevarren kääntämiseen.

$$m * l = M$$

m on käännettävän kappaleen massa

l on massan etäisyys moottorista

M on tarvittava vääntömomentti

Kääntävän moottorin tarvitsema momentti

Vartta kiertävä moottori on sijoitettu keskelle alustan kantta, ja antennin kiinnikevarsi ulottuu siitä molempiin suuntiin. Kiinnikevarsi painaa noin 700 g ja siihen kiinnitetty moottori ja antenni yhteensä noin 400 g. Koska suurin osa varresta sijoittuu 10 cm:n matkalle toiselle puolelle kääntävän moottorin akselia ja loput varresta sekä moottori ja antenni samalle matkalle toiselle puolelle akselia, on akselin toisella puolella noin 500 g ja toisella

600 g. Molemmilla puolilla akselia painopiste todennäköisesti sijoittuu lähemmäksi päätä kuin lähelle moottoria, ja sen oletetaan olevan painopisteen olevan noin 7,5 cm:n kohdalla.

Antennin puoli vartta:

$$0,5 \text{ kg} * 0,075 \text{ m} = 0,0375 \text{ Nm}$$

Toinen puoli:

$$0,6 \text{ kg} * 0,075 \text{ m} = 0,045 \text{ Nm}$$

Kääntävän moottorin tarvittava momentti on

$$0,0375 \text{ Nm} + 0,045 \text{ Nm} = 0,0825 \text{ Nm}$$

Kallistavan moottorin tarvitsema momentti

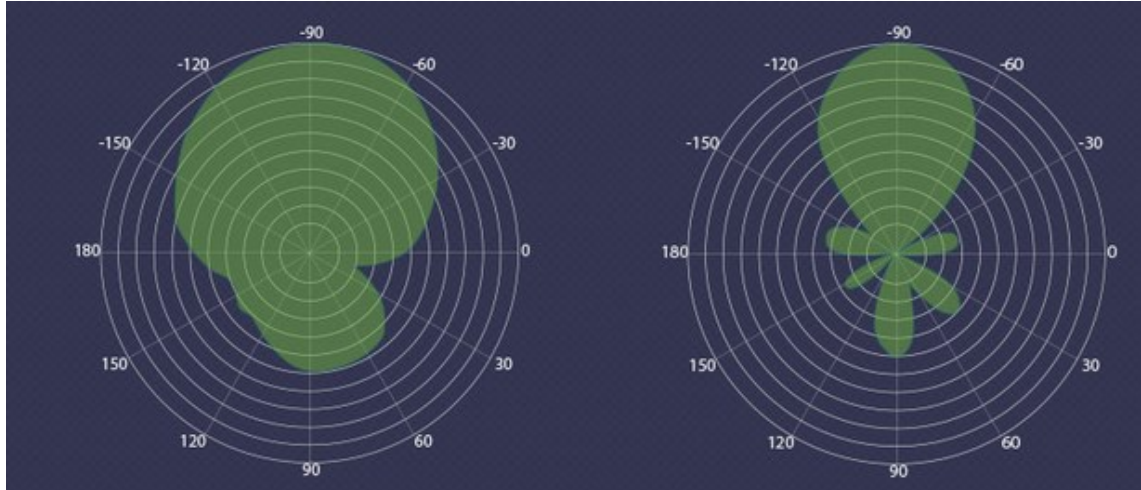
Kallistava moottori, joka sijaitsee kiinnikevarren päädyssä, kannattelee antennia. Antennin keskipiste sijaitsee 6 cm:n etäisyydellä moottorin akselista. Antennin paino on noin 300 g.

Kallistavan moottorin tarvitsema momentti on

$$0,3 \text{ kg} * 0,06 \text{ m} = 0,018 \text{ Nm}$$

4.3 Keilan koko ja tarkkuus

Käytettäväksi antenniksi valittiin TP-link CPE-210 -sektorianntenni. Antennin keila on horisontaalilla tasolla 65 astetta ja vertikaalilla tasolla 35 astetta (kuva 5).



Kuva 5. Antennin keila. Vasemmalla horisontaali taso oikealla vertikaali. [10]

Antennin keila määrittää, kuinka tarkka suuntauksen tarvitsee olla. Myös laitteen etäisyys antennista on merkittävää, koska kun mennään kauemmaksi antennista keilan kattama alue ensin kasvaa, mutta alkaa pienetä vielä kauemmaksi mennessä.

Suuntauksen tarkkuuden riittävyys

Koska antennin keila levenee siitä kauemmaksi mennessä, on suuntaaminen helpompaa, kun vastaanotin on kauempana antennista. Tietäen GPS-moduulin tarkkuuden voidaan laskea, millä etäisyyksillä vertikaalisen suuntauksen pitäisi olla tarkkaa.

Alla olevassa kaavassa moduulin virhe sekä keilan kulma on jaettu kahdella, jotta muodostuisi suorakulmainen kolmio.

$$\frac{\frac{E}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} = D$$

α on keilan kulma

E on moduulin virhe

D on tarvittava etäisyys

Horisontaalinen:

$$\frac{1,25m}{\sin 32,5^\circ} = 2.32645m$$

Vertikaalinen:

$$\frac{0,5m}{\sin 17,5^\circ} = 1.66275m$$

Vaikka antennin vertikaalinen keila on pienempi kuin horisontaalinen, on barometrin virhe merkittävästi pienempi suhteessa GPS:ssään. Koska barometrin virhe on paljon pienempi, on suuntaus teoreettisesti tarkempaa keilan pienuudesta huolimatta. Suuntaus on laskujen mukaan tarkkaa heti noin kahden ja puolen metrin kohdalla, joka on tarpeeksi tarkka mihin tahansa käyttötarkoitukseen.

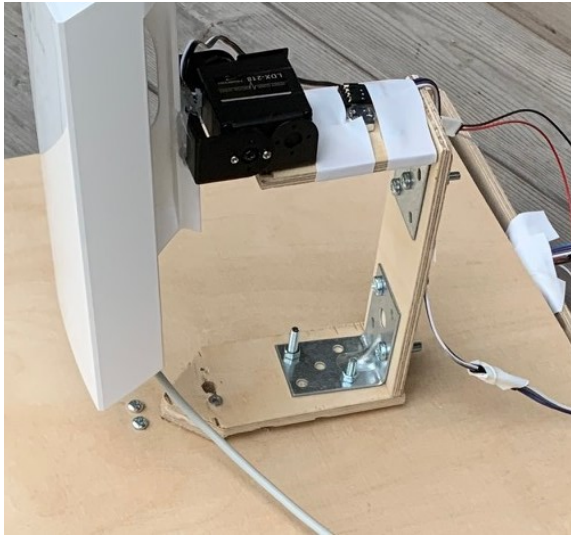
Samantyyppinen lasku pätee myös keilan loppupäähän, kun mennään tarpeeksi kauas antennista. Valitettavasti meillä ei ole käytössä keilan muutoksen tarkkaa pituutta, joten teoreettista suuntaamalla saavutettavaa kantamaa ei voida tällä tavoin laskea.

5 Järjestelmän kokoonpano

5.1 Antennin kiinnikevarsi

Antennia kannatteleva moottori on kiinnitetty koukkumaiseen kiinnikevarseen, jotta antennin kallistaminen olisi mahdollista. Kiinnikevarsi on alhaalta kiinni alustan kanteen asennetussa moottorissa, joka mahdollistaa varren ja sen kautta antennin kääntämisen.

Kiinnikevarsi ja siihen kiinnitetty antenni ulottuu pohjassa olevan kääntävän moottorin akselin molemmille puolille, jotta akseliin kohdistuva voima olisi mahdollisimman suoraan ylhäältä, ettei akseli vääntyisi.



Kuva 6. Antennin kiinnikevarsi.

5.2 Servomoottorit

Suuntausjärjestelmä käyttää kahta servomoottoria antennin liikuttamiseen. Toinen servo on liitetty antennin kannattimeen ja kallistaa antennia vertikaalisessa suunnassa. Toinen servoista taas liikuttaa antennin kannatinta horisontaalisesti.

5.2.1 Kallistava servo

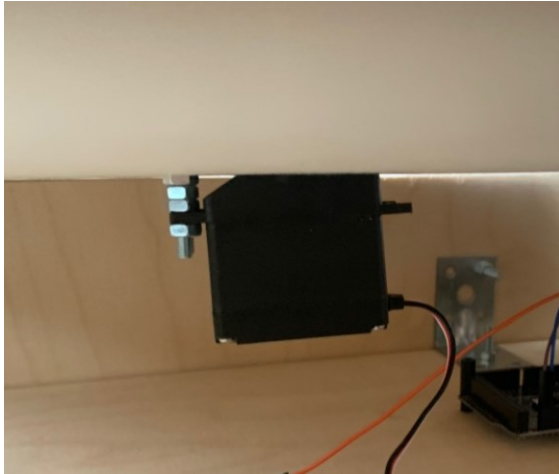
Antennia kallistavana servomoottorina käytettiin HiWonder LDX-218 -moottoria. Se on digitaalinen servomoottori, jolla on 180 asteen käyttökulma ja 1,7 Nm vääntöä (kun jännite n. 7,4 V). Antenni on kiinnitetty moottoriin antennin kannattimesta ruuveilla (kuva 7).



Kuva 7. Kallistava servomoottori kiinni antennin kannatinvarressa.

5.2.2 Kääntävä moottori

Antennia kääntävänä moottorina käytettiin vapaasti pyörivää servomoottoria Dilwe SM-24306R. Moottorin vääntömomentti on 0,87 Nm (6 V:n käyttöjännitteellä). Moottori on kiinnitetty alustan kanteen ruuveilla, ja moottorin akseli kulkee kannen läpi, josta se on kiinnitetty ruuvilla antennin kannatusvarteen (kuva 8).

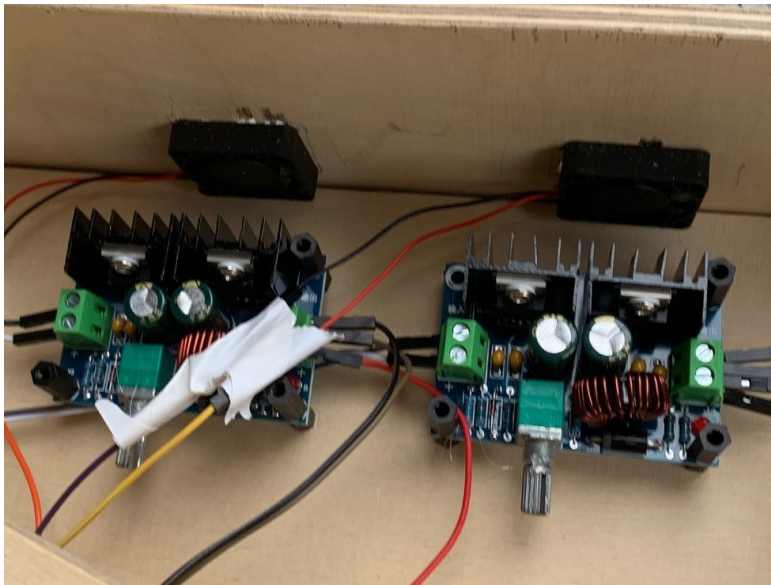


Kuva 8. Kääntävä moottori kiinnitettynä alustan kannen pohjaan.

5.3 Virtalähteet

5.3.1 Moottoreiden virtalähteet

Antennia liikuttavat moottorit voivat vaatia jopa useamman ampeerin virtaa ja tämän takia molemmille moottoreille varattiin oma virtalähde (kuva 9). Virtalähteet myös laskevat ulkoisesta virtalähteestä saadun jännitteen sopivaksi moottoreille. Tästä muunnoksesta häviöksi jäänyt energia muuttuu lämmöksi, joten varmuuden vuoksi virtalähteiden vieressä olevaan seinään asennettiin pienet tuulettimet. Virtalähteiden tuottama maksimi virta on 8 A. Sisään tuleva jännite on 12 V, joka muunnetaan noin 5,5–7,5 V alueelle riippuen moottorista. Tuulettimet ovat kytkettynä siihen virtalähteeseen, jolla pienempi jännite.



Kuva 9. Moottorien tasavirtalähteet alustalaatikossa.

5.3.2 Ulkoinen tasavirtalähde

Suuntausjärjestelmän moottoreiden virtalähteiden sisääntulojännitteeksi valittiin 12 V sen pienen jännitemuutoksen takia sekä sen vuoksi, että 12 V virtalähteiden saatavuus tarvittavalla liittimelle oli hyvä. Valittu virtalähde muuntaa vaihtovirrasta (230 V) 12 V tasavirtaa. Saatava maksimivirta on 10 A. Se kytkeytyy 5,5 mm:n pyöreän liittimen (Barrel plug) kautta alustalaatikon sisäiseen elektroniikkaan (kuva 10).



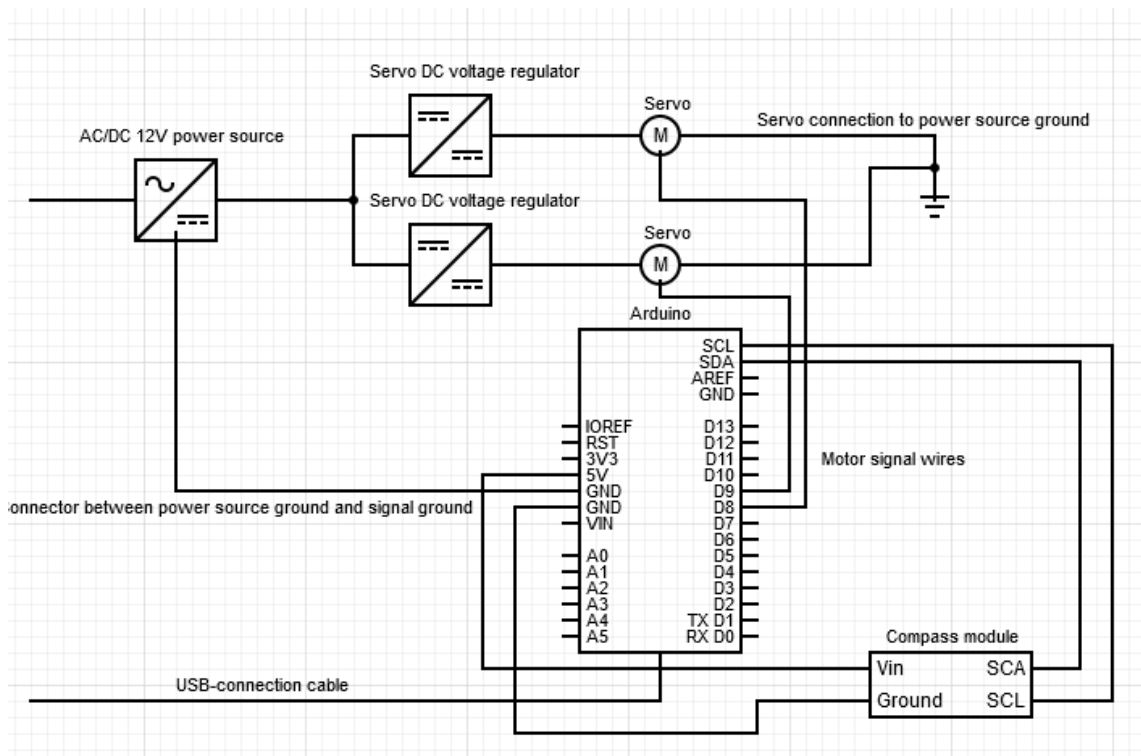
Kuva 10. Järjestelmän ulkoinen virtalähde.

5.4 Järjestelmän kontrolleri

Järjestelmän kontrollerina toimii Arduino Mega2560 -mikrokontrolleri. Kontrolleri sisältää koko järjestelmän ohjelmiston. Se vastaanottaa tarvittavan datan käyttötietokoneelta ja laskee, mihin kulmaan moottoreita tulee ohjata ja ohjaa moottoreita tämän jälkeen. Kontrolleri on kytketty käyttötietokoneeseen USB-väylän kautta.

5.5 Kytkenät

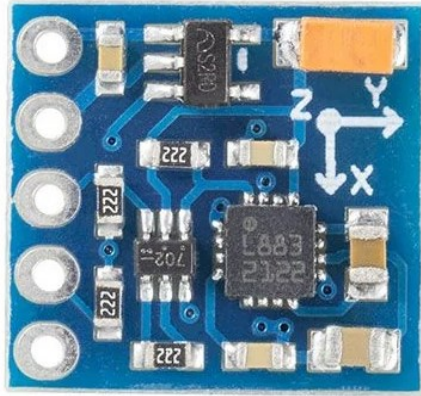
Alla oleva kaavio (kuva 11) kuvaa järjestelmän sisäisiä kytkentöjä. Moottorit saavat virtansa ulkoiselta virtalähteeltä, jonka syöttämää virtaa sisäiset virtalähteet reguloivat. Sillä moottoreita ohjaava kontrolleri saa virtansa käyttötietokoneesta on kontrolleri kytketty maajohdolla moottoreiden virtalähteen maapisteeseen, jotta kontrollerin ja moottorien maajännitte olisivat samalla referenssitasolla.



Kuva 11. Suuntausjärjestelmän kytkentäkaavio.

5.6 Kompassimoduuli

Suuntausjärjestelmän antennikiinnitysvarren päälle kiinnitettiin kompassimoduuli, jonka avulla tiedettäisiin antennin orientaatio sen kääntyessä ympäri. Käytetty moduuli on GY-271 -kompassimoduuli (kuva 12).



Kuva 12. GY-271 Kompassimoduuli [11].

5.7 Alusta

Järjestelmän alusta on puinen laatikko, joka sisältää suurimman osan elektroniikasta. Laatikko sisältää moottorien tasavirtalähteet sekä suuntausjärjestelmän kontrollerin. Alusta kannattelee antennin kiinnikevartta, joka on kiinni alemmassa servomoottorissa, mikä on kiinnitettyä laatikon kanteen. Virtalähteet ja kontrolleri on kiinnitetty alustan pohjaan (kuva 13).

Laatikon seinässä on reiät kontrollerin USB-johtoa varten sekä virtalähteiden virtajohtoa varten. Lisäksi laatikon toisessa seinässä on kaksi tuuletusaukkoa, joiden läpi pienet tuulettimet poistavat laatikosta ilmaa virtalähteiden mahdollisen lämpenemisen takia.



Kuva 13. Kuva järjestelmästä.

6 Ohjelmisto

Suuntausjärjestelmän toiminta perustuu vahvasti sen käyttämään ohjelmistoon. Ohjelmisto on käyttötilanteessa kolmiosainen. Ohjelmisto sisältää kopterin vastaanottimen ja lähettimen ohjelmiston, kontrollointitietokoneen (käyttötietokone) ohjelmiston ja käyttöympäristön sekä suuntausjärjestelmän ja sen moottoreiden ohjauksen ohjelmiston.

Kopterin vastaanottimen ohjelmiston tarkoitus on vastaanottaa kopterin lento-ohjaimelta tarvittava data ja lähettää se käyttötietokoneelle. Tätä osaa ohjelmistosta ei käsitellä juurikaan työssä, sillä työ keskittyy suuntausjärjestelmään ja sen käyttöohjelmistoon.

Käyttötietokoneen ohjelmiston tarkoitus on vastaanottaa kopterin antamat tiedot ja välittää ne suuntausjärjestelmälle.

Suuntausjärjestelmän ohjelmisto vastaanottaa käyttötietokoneelta sen saamat sijaintitiedot ja näiden perusteella ohjaa suuntausjärjestelmän moottoreita, jos korjausta tarvitaan.

Ohjelmisto on tehty käyttämällä C++- (Arduino) ja Python-ohjelmointikieliä.

6.1 Datan vastaanotto ja käsittely

Suuntauksen toteuttamiseksi on lähettävän laitteen sijaintitiedot saatava kuljetettua laitteelta käyttötietokoneen kautta suuntausjärjestelmän ohjauskontrollerille (kuva 14). Tässä operaatiossa välikätenä toimii kontrollointitietokone, jolla käyttöympäristökin pyörii.

Lähettävä laite (Drone)



Langaton yhteys lähiverkon kautta (Wi-Fi)

Käyttötietokone

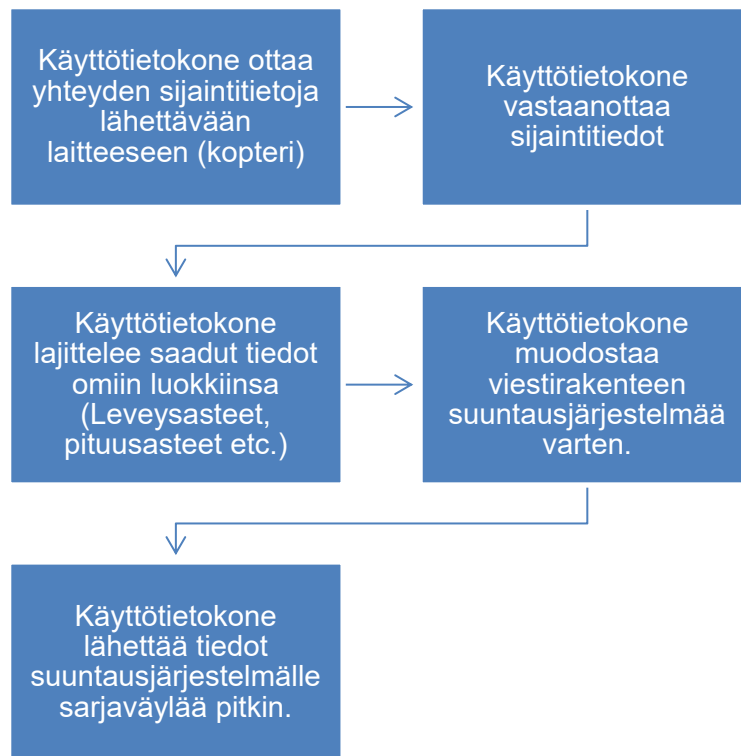


Fyysinen yhteys kaapelin kautta (USB)

Suuntausjärjestelmä

Kuva 14. Kaavio datan kulusta laitteiden välillä.

Alla oleva kaavio (kuva 15) esittää datan kulun ja käsittely järjestyksen lähettävältä laitteelta suuntausjärjestelmälle.



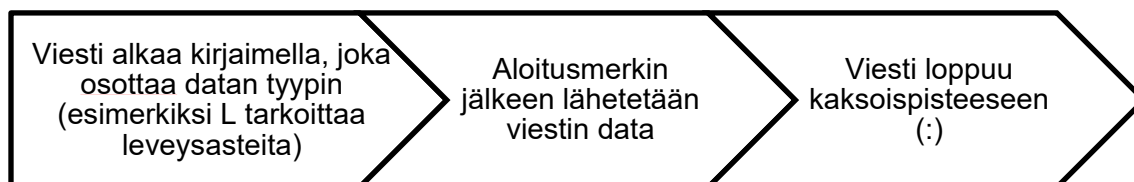
Kuva 15. Kaavio toimintojen järjestyksestä.

Ensimmäiseksi käyttötietokone muodostaa yhteyden lähettävään laitteeseen. Tämä tapahtuu käyttämällä lähiverkkoporttia, jonka lähettävä laite on avannut yhteyttä varten. Lähettävä laite on valmiina aloittamaan lähetyksen havaittuaan yhteyden, ja käyttötietokone aloittaa viestinnän avaamalla yhteyden.

Kun yhteys avataan, alkaa käyttötietokone vastaanottamaan laitteen sijaintitietoja. Sijaintitiedot vastaanotetaan yhtenä pakettina ja ne puretaan viestistä omiin kategorioihinsa. Sijaintitietoja vastaan otetaan koko ajan heti, kun edellinen vastaanotettu data on lajiteltu.

6.2 Datan lähettäminen suuntausjärjestelmälle

Saatu sijaintidata lähetetään suuntaus järjestelmälle USB-väylää pitkin. Jotta suuntausjärjestelmä tunnistaisi, mitä dataa vastaanotettu numeerinen viesti vastaa, täytyy data lähettää muodossa, joka erottaa datamuodot toisistaan (kuva 16).



Kuva 16. Käyttötietokoneen ja suuntausjärjestelmän välisten viestien rakenne.

Kuva 16 kuvaa järjestelmälle lähetettävän tavujonon rakennetta. Jonon ensimmäinen tavu kertoo mitä dataa sitä seuraava numero kuvastaa. Käyttöohjelmisto rakentaa jokaisen dataviestin tähän muotoon ennen sen lähettämistä suuntausjärjestelmälle.

6.3 Suuntausjärjestelmän ohjelmisto

Suuntausjärjestelmän ohjelmisto suorittaa suuntauksen saamiensa tietojen mukaisesti kääntämällä moottoreita. Ennen kuin suuntaus alkaa, odottaa ohjelmisto käyttökoneelta kalibrointi-arvoja. Kalibrointi-arvot sisältävät järjestelmän leveysasteet, pituusasteet korkeuden merenpinnasta ja järjestelmän lähtösuuntauksen asteina. Kun nämä arvot on vastaanotettu, järjestelmä aloittaa suuntauksen.

Suuntaus tapahtuu vertaamalla korjattua suuntaa (lasketaan saadun kalibrointi-arvon ja kompassimoduulilta saadun arvon avulla) ja vastaanotetuista lähettävän laitteen ja järjestelmän itsensä koordinaateista laskettua suuntaa. Jos nämä suunnat (asteissa) eroavat toisistaan, antaa järjestelmä käskyn kääntää antennin kiinnikevartta, kunnes nämä kaksi laskettua suuntaa ovat lähes yhtä suuret. Jotta suuntaus olisi sulavaa, laskee ohjelmisto mihin suuntaan antennia kannattaa kääntää, jotta oikea suuntaus saavutettaisiin nopeasti.

7 Käyttö

7.1 Järjestelmän sijainnin ja suunnan kalibrointi

Jotta järjestelmä voisi toimia oikealla tavalla, täytyy ennen käyttöä antaa sille tietyt kalibrointi-arvot, joita järjestelmä ei itse pysty hankkimaan.

Koska suuntausjärjestelmässä itsessään ei ole GPS- eikä barometrianuria on sen saatava oma sijaintinsa, ennen kuin suuntaus voidaan aloittaa. Tämä saavutetaan asettamalla lähettävä laite järjestelmän viereen ja aloittamalla kalibrointivaihe käyttöohjelmistosta. Järjestelmä tallentaa nämä arvot ja käyttää niitä suuntaamiseen, sillä järjestelmää tällä kokoonpanolla ei ole tarkoitettu liikutettavaksi suuntauksen aikana.

Ennen käytön aloittamista täytyy järjestelmälle myös antaa antennin senhetkinen suunta. Järjestelmä käyttää tätä integroidun kompassimoduulin antaman suunnan kalibroimiseen.

Suunta otetaan vertaamalla antennin suuntaa ja ulkoista kompassia esimerkiksi älypuhelimesta.

7.2 Järjestelmän käyttö

Ohjelmisto käynnistetään, kun suuntaus halutaan aloittaa ja lähettävä laite on valmiina käyttöön. Käyttötietokoneen ohjelmisto pyytää käyttäjältä tarvittavat tiedot suuntauksen aloittamiseksi. Lisäksi ohjelmisto kertoo ja muistuttaa käyttäjää aloitustoimenpiteiden vaiheista (kuva 17).

```
Check that target device is close to and in front of the system and ready
for calibration (continue by writing Y / cancel by writing anyother symbol
)
Y
Waiting for calibration values
L6025873:
P2484328:
K30.54:
Give system heading:
180
Data receiving and sending in progress...
```

Kuva 17. Ohjelmiston käyttönäkymä.

Kun järjestelmä on ohjelmiston avulla kytketty, tulisi järjestelmän toimia automaattisesti ilman käyttäjän väliintuloa.

8 Testaus

8.1 Käytännön testaus

Järjestelmää testattiin kytkemällä laitteisto päälle ja luomalla ohjelmiston avulla yhteys tarvittavien laitteiden välille, sekä antamalla tarvittavat kalibrointiarvot. Tämän jälkeen lähettävää laitetta liikuteltiin antennin suuntausjärjestelmän lähistöllä.

Käytännön testauksen aikana huomattiin, että antennin suuntaus oli nykivää sekä se yleensä keskeytyi jopa kokonaan. Tämä aiheutti sen, että kun lähettävä laite liikkui antennin keilan ulkopuolelle, menetettiin yhteys kokonaan, mikä myös aiheuttaa suuntauksen keskeytymisen sijaintidatan puuttumisen takia.

8.2 Simuloitu testaus

Käytännön testeissä huomattujen ongelmien takia päätettiin järjestelmää testata simuloitusti syöttämällä, sijaintidataa sille manuaalisesti ja tarkastamalla, miten ohjelmisto ja järjestelmä reagoi syötteisiin.

Ohjelmisto vastaanotti, purki ja käsitteli saamiaan tietoja oikein ja suunnitellusti, mutta antennin suunnan tarkistavan kompassimoduulin antama data ei ollut oikeaa. Moduuli jähmettyi yleensä arvoon, joka sillä oli, kun järjestelmä käynnistettiin. Tämä aiheutti sen, ettei järjestelmä tiennyt asennostaan eikä suorittanut suuntausta oikein. Kun järjestelmän suuntaus annettiin sille käyttäen ulkopuolista kompassia, tapahtui suuntaus oikein, mutta silloin järjestelmän hyödyllisyys ei kuitenkaan toteutunut.

8.3 Testauksen tulokset

Vaikka järjestelmän testauksessa tulikin vastaan ongelmia antoi se silti tietoa ja käytännön kokemusta kyseisen järjestelmän toimivuudesta ja käytöstä. Koska järjestelmän tavoite oli luoda parempi yhteys suuremmalle kantamalle verrattuna ympärisuuntaavaan antenniin, kuitenkin luomatta suurta työmäärää käyttäjälle, voimme huomata, että työssä rakennettu järjestelmä luo kuitenkin merkittävän määrän alkuvalmisteluja, joita ei tavanomaisessa ohjausjärjestelyssä olisi (esimerkiksi radio-ohjain).

Lisäksi koska yhteyden katkeaminen aiheuttaa suuntauksen pysähtymisen, voi pienikin ongelma aiheuttaa koko yhteyden lopullisen menettämisen. Tämä luo suuren riskin varsinkin ottaen huomion tavallisen lähiverkkoyhteyden häiriöherkkyyden.

Näistä syistä tämän insinööriyön perusteella ei kyseisen tyyppistä järjestelmää voi suositella ainakaan työssä mainittuun harrastuslennokkikäyttöön.

9 Yhteenveto

9.1 Tavoitteiden täytyminen

Insinööriyön tavoitteet täytyivät suurilta osin. Suunniteltu järjestelmä saatiin rakennettua ja toimimaan suurilta osin ajatellun mukaan. Järjestelmän hankala käyttö ei kuitenkaan sen tältä osin saavutetussa versiossa tehnyt sitä sopivaksi alkuperäisesti valittuun käyttöön. Käytännön kokeilu jäi myös vähäiseksi järjestelmän osalta, mutta tämä johtui pääosin yhden komponentin vajavaisesta toiminnasta.

Järjestelmän ohjelmisto kuitenkin toimi suunnitellusti, ja sillä tehdyt testit, kun vajavainen komponentti ohitettiin, tuottivat toimivan ja oikeanlaisen tuloksen.

9.2 Kehitysehdotukset

9.2.1 Kompassimoduulin korvaaminen

Suurin ongelmakohta järjestelmässä oli epätarkka kompassimoduuli, jonka tehtävänä oli tarkkailla antennin asentoa. Tämän ongelman voisi ohittaa käyttämällä antennia kääntävänä servomootorina saman tyyppistä digitaalista servomootoria kuin kallistava moottori. Koska servomootorit, joissa on sisäinen asentotunnistin ovat usein kääntökulmaltaan vain 180 asteisia saattaisi tämä rajoittaa antennin kääntyvyyden 180 asteeseen, mutta se ei välttämättä tuottaisi ongelmia kaikissa käyttötarkoituksissa. Tämä kuitenkin poistaisi tarpeen ulkoiselle anturille, sillä moottorin asennosta voitaisiin päätellä antenninsuuntaus vertaamalla sitä kalibrointiarvoihin.

9.2.2 Täyden liikkuvuuden saavuttaminen

Jos haluttaisiin kuitenkin käyttää työssä käytettyä vapaasti pyörivää moottoria ja saavuttaa täysi 360 asteen liikkuvuus järjestelmälle täytyisi antennin kiinnikevarteen kiinnitettyjen komponenttien johtimien kulkea liukurengasliittimen kautta järjestelmän alustaan, jotta johtojen mahdollinen kiertyminen ei aiheuttaisi ongelmia.

9.2.3 Alkuvalmisteluiden eliminointi

Jotta pääsisimme tilanteeseen, jossa järjestelmä olisi mahdollisimman helppokäyttöinen olisi toivottavaa, että käytön alkuvaiheen kalibrointitoimenpiteitä pystyttäisiin vähentämään. Antennin sijainnin kalibroinnin poistaminen olisi mahdollista asentamalla suuntausjärjestelmään oma GPS ja barometrianturi näin mahdollistaen sen, että järjestelmä tunnistamaa automaattisesti oma sijaintinsa. Tämä myös mahdollistaisi järjestelmän liikkuttamisen käytön aikana tarvittaessa.

Lähteet

- 1 Omni antenna vs Directional antenna. Verkkoaineisto. Cisco Systems. <<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/82068-omni-vs-direct.html>> Luettu 10.6.2020.
- 2 What is a yagi antenna. Verkkoaineisto. Everythingrf. <<https://www.everythingrf.com/community/what-is-a-yagi-antenna>> Luettu 10.7.2020.
- 3 What are sector antennas. Verkkoaineisto. Everythingrf. <<https://www.everythingrf.com/community/what-are-sector-antennas>> Luettu 10.7.2020.
- 4 Parabolic antenna. Verkkoaineisto. Radartutorial EU. <<https://www.radartutorial.eu/06.antennas/Parabolic%20Antenna.en.html>> Luettu 23.8.2020.
- 5 What is the difference between 2.4 GHz and 5 GHz wireless frequencies. Verkkoaineisto. Netgear. <<https://kb.netgear.com/29396/What-is-the-difference-between-2-4-GHz-and-5-GHz-wireless-frequencies>> Luettu 2.7.2020.
- 6 Which frequency should you use. Verkkoaineisto. Century link. <<https://www.centurylink.com/home/help/internet/wireless/which-frequency-should-you-use.html>> Luettu 23.8.2020.
- 7 Neo-6m GPS module. Verkkoaineisto. Makersportal. <<https://makersportal.com/shop/neo-6m-gps-module>> Luettu 29.9.2020.
- 8 BMP180. Verkkoaineisto. Banggood. <<https://www.banggood.com/GY-68-BMP180-Digital-Barometric-Pressure-Sensor-Board-Module-for-for-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-1059025.html>> Luettu 29.9.2020.
- 9 Satellite Navigation - GPS - How It Works. Verkkoaineisto. United States Department of Transportation. <https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks/> Luettu 23.8.2020.

- 10 Antennikeila kuva. Verkkoaineisto. TP-link Finland. <<https://www.tp-link.com/us/business-networking/outdoor-radio/cpe210/#overview>> Luettu 24.7.2020.

- 11 GY-271. Verkkoaineisto. Sunfounder. <<https://www.sunfounder.com/product-gy271-hmc5883l-3axis-magnetic-electronic-compass-module.html>> Luettu 29.9.2020.