



UAV laitteet ja niiden tiedonsiirtojärjestelmät

Wassman, Mikko

Laurea ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Laurea Leppävaara
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Mikko Wassman

UAV laitteet ja niiden tiedonsiirtojärjestelmät

Vuosi 2012

Sivumäärä 31

UAV eli Unmanned Aerial Vehicle on suurelle yleisölle vielä tuntematon käsite. Nämä laitteet ja niiden tuomat mahdollisuudet ovat kehittyneen teknologian ja kaupallisten hyötyjen valossa kasvaneet huomattavasti viimeaikoina. Erinäisiä ongelmia on vielä paljon ja parannettavaa löytyy niin ohjelmistojen kuin fyysisten ominaisuuksien parantamisessa. Avainsana tässä on erikoistuminen datalinkin ominaisuuksiin ja niiden optimoiminen UA systeemille sopiviksi. Ongelmien diagnosointia suoritetaan paljon myös melko laajalla harrastaja pohjalla, joka tuo oman lisänsä tähän uuteen, mutta historialliseen toimintaan. Tässä työssä käydään läpi ratkaisumalleja näihin ongelmiin, jotka toimivat pullonkaulana kyseisen toimialan kehitykselle.

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Laurea-ammattikorkeakoulu. Toimeksiantona oli selvittää erilaisia tiedonsiirtomenetelmiä UA systeemille.

Johtuen alan näennäisestä nuoruudesta tutkijoita, alustoja ja toimintamalleja on useita erilaisia, eikä selvää suuntaa oikeastaan vielä ole. Erikoistuminen ja yhteisten standardien löytäminen ja niistä sopiminen, niin kansallisilla kuin kansainvälisillä sopimuksilla on prioriteettina myös hyvin tärkeä.

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyi monen ongelmakohdan tunnistaminen ja niihin ratkaisumallien hakeminen.

Asiasanat: UAV, UAS, MAV, Datalinkki

Laurea University of Applied Sciences
Laurea Leppävaara
Degree Programme in Business Information Systems

Abstract

Mikko Wassman

UAV equipment and UAV's data transfer scheme

Year 2012

Pages 31

UAV, or unmanned Aerial Vehicle is a concept, which is not yet well known to general public. These devices and their potential is now more available because of advanced technology and because of the commercial benefits of the interest has grown considerably in recent times. There are some difficulties and there is still much room for improvement, both software and hardware and middleware are in need of improvements. The key word here is specialization in data link properties get it to fit to UA system. Problem diagnosis is carried out also a lot of fairly large enthusiast base, which adds more thrive to this new, but yet historic area of expertise. In this thesis, I try find and recognize the problems and seek solutions to them. I think this is the bottleneck in the industry's development.

This study was commissioned by Laurea University of Applied Sciences. The assignment was to find a variety of communication methods to UA system.

Due to the youngness of researchers and business models for a number of different platforms and no clear direction yet in this field. Specialization and the discovery of common standards is the key to the success of this field. It's important to find rules that are agreed upon, both in national and international level.

This study resulted in multiple conclusions how we tackle these problems.

Keywords: UAV, UAS, MAV, Data link

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Termistö	6
3. UAV laitteiden historiaa	8
4. UAV laitteiden mallit ja käyttötarkoitukset	10
4.1 MAV:t	12
4.2 UAV:t	14
5. Datalinkki UAV:n ja maatumikohdan välillä	15
5.1 Datalinkin esittely ja arkkitehtuuri	16
5.2 UA systeemin lähetin ja vastaanotin	17
5.3 Datalinkin tiedonsiirron tekniikka	18
6. Datalinkin toiminta	19
6.1 GPRS	20
6.2 2G	21
6.3 EDGE	22
6.4 UMTS	23
6.5 3G, 4G ja Wi-Fi	24
7. GPS	26
8. Radioaallot	27
9. UA systeemin ongelmakohdat	28
10. Yhteenveto	28
Lähteet	30

1. Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää mahdollisuuksia käyttää miehittämättömien lentoaluksien käyttämistä alueiden kartoitukseen, sekä menetelmiä, joilla hoidetaan tietoliikennettä, lentävän laitteen ja itse lähtöpisteen välillä. Aihe valikoitui minulle, koska pidän sitä mielenkiintoisena, jopa hiukan scifi-henkisenä, uutena tekniikkana jolla on hyvin paljon käyttötarkoituksia.

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) tämän hetkinen käyttö on lähinnä sotilaallista, hallitusten harjoittamaa toimintaa, esimerkiksi monille on tuttu Yhdysvaltain ilmavoimien, nyt jo hiukan vanhentuneet Predator-lennokit. Kyseistä laitetta on käytetty suurella menestyksellä ympäri maailmaa tiedustelussa sekä iskuissa. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus pohtia pienempien UAV-laitteiden rauhanomaisempaa käyttöä, sekä eteen nousevia teknisiä ongelmia ja mahdollisia ratkaisuja niihin.

Vertailen perinteisen maastokuvauksen ja UAV-laitteiden eroa; kumpi toimii paremmin missäkin olosuhteissa. Pyrin myös pohtimaan kumpi on kustannustehokkaampaa. Maanpinnan kuvaukselle on suuri tarve ja on helppo nähdä monia eri käyttökohteita UAV-laitteille, mainittakoon esimerkiksi kaavoitus, erilaisten katastrofi alueiden kartoitus (tulvat, metsäpalot jne.), sää ilmiöiden tarkkailu (ilmansuunta, lämpötila jne.) ja vaikka eksyneiden lapsien etsiminen metsästä. Periaatteessa käyttötarkoituksella ei ole rajoja, ainoastaan sillä mitä laitteita on kustannustehokasta kiinnittää UAV-laitteeseen sekä kysymys, missä vaiheessa laitteesta tulee liian iso. Veikkaan, että jo viiden vuoden päästä joku opiskelija kirjoittaa opinnäytetyötä UAV-laitteesta, joka on kykeneväinen liikkumaan maalla, ilmassa ja vedessä. Eräänlainen amfibio-laite, jolle pitää aikanaan keksiä uusi nimi.

Tarkoituksena on käydä hiukan läpi UAV-laitteiden historiaa, jotta nähdään miten on nykyiseen tilanteen päädytty ja pyritään hiukan ennustamaan tulevaa. Työn toimeksiannon antoi minulle Jyri Rajamäki, joka toimii yliopettajana Laurea Leppävaaran toimipisteessä.

2. Termistö

Käydään läpi termistöä, sekä käsitteitä mitä tässä opinnäytetyössä on käytetty eniten.

UAV = Unmanned Aerial Vehicle, miehittämätön lentävä alus, jota ohjataan kauko-ohjauksella (RPA). Ohjauksen voi suorittaa joko ihminen tai kone.

RPA/RPV = Remotely Piloted Aircraft/Vehicle, kauko-ohjauksella ohjattava lennokki.

MAV = Micro Air Vehicle, kooltaan rajoitetumpi, UAV-laitteiden pienin malli.

Ornitopteri = siipilyöntikone, laite joka matkii lintujen sekä hyönteisten lentoa.

NAV = Nano Air Vehicles, MAV laitteiden seuraava kehitysaskel pienempään kokoon.

MUAV ja SUAV = Miniature/Small Unmanned Aerial Vehicle, miehittämätön lentävä laite, joka on tarpeeksi kevyt yhden ihmisen liikuttaa kantamalla.

UAVS = Unmanned Aircraft Vehicle System, viittaus koko systeemiin, johon kuuluvat itse lentävät laitteet sekä maa-asema. Tästä Federal Aviation Administration:n käyttämä termi on UAS eli Unmanned Aircraft System.

UA = Unmanned Aircraft, termi joka pitää sisällään kaikki miehittämättömät lentävät laitteet.

GCS = Ground Control Station, maassa sijaitseva hallinta-asema, josta UA:ta ohjailaan, käsitellään sen lähettemää dataa jne.

NATO = North Atlantic Treaty Organization, eli Pohjois-Atlantin liitto. Sotilaallinen järjestö.

MALE = Medium Altitude, Long Endurance. Vapaasti käännettynä: Kohtalainen lentokorkeus, pitkä toimintasäde, eli UAV laite lentää melko matalalla, mutta toimintasäde on pitkä.

HALE = High Altitude, Long Endurance. Vapaasti käännettynä: Korkea lentokorkeus, pitkä toimintasäde, eli UAV laite lentää ylemmässä ilmakehässä ja toimintasäde on pitkä.

IP = Internet Protocol, on TCP/IP-mallin Internet-kerroksen protokolla, joka huolehtii IP-tietoliikennepakettien toimittamisesta perille pakettikytkentäisessä Internet-verkossa.

UHF = Ultra High Frequency, mikroaaltojen alue, joka on laaja ja jota käytettiin ennen esimerkiksi televisio lähetyksissä.

4G = neljännen sukupolven matkapuhelin tekniikka tiedonvälitykseen.

OFDM = Orthogonal frequency-division multiplexing, toiselta nimeltään DMT-modulointi. Tämän tekniikan avulla voidaan siirtää useilla taajuuksilla yhtä aikaa, mutta ne eivät kumminkaan häiritse toisiaan.

FFT = Fast Fourier Transform, algoritmi jolla voidaan laskea signaalin muunnoksia.

RF = Radio Frequency, lähettimen värähtelytaajuus, oskillaatio

PM = Phase Modulation, digitaalisen tiedon modulointi tekniikka.

QAM = Quadrature Amplitude Modulation, modulointitekniikka joka yhdistää vaihemodulaation sekä amplitudimodulaation.

AM = Amplitude Modulation, modulointitapa, jossa signaalin voimakkuutta muuttamalla välitetään tietoa eteenpäin.

ASK = Amplitude-shift Keying, modulointitekniikka, jota käytetään QAM tekniikassa.

PSK = Phase Shift Keying, modulointitekniikka, jota käytetään myös QAM tekniikassa.

GPRS = General Packet Radio Service, paketteja liikuttava tiedonsiirtojärjestelmä, joka toimii GSM verkossa.

GSM = Global System for Mobile Communication, maailmanlaajuinen matkapuhelinjärjestelmä.

EDGE = Enhanced Data rates for GSM Evolution, tunnetaan myös EGPR, eli Enhanced General Packet Radio Service suomeksi paranneltu GPRS verkko, eli nopeampi.

2G = Second Generation, toisen polven digitaaliset teknologiat.

3G = Third Generation, kolmannen polven digitaaliset teknologiat.

4G = Fourth Generation, neljännen polven digitaaliset teknologiat.

SMS = tekstiviestit

UMTS = Universal Mobile Telecommunications System, teknologia joka kehitettiin 3G:tä varten.

3GPP = 3rd Generation Partnership Project, viestinnän toimijoiden yhteistyö elin, joka luo uutta tekniikkaa ja standardeja.

W-CDMA = Wideband Code Division Multiple Access, UMTS:lle kehitetty nopeampi tiedonsiirtotekniikka, joka takaa enemmän kaistaa ja nopeutta.

UTRAN = UMTS Terrestrial Radio Access Network, UMTS tekniikka, jolla voi hallita laitteita, joissa on vastaanotin UMTS verkossa toimiville tiedonsiirtotekniikoille.

CSD = Circuit Switched Data, piirikytkentäinen yhteys, eli jatkuva.

ITU = International Telecommunication Union, kansainvälinen televiestintäliitto.

NTIA = National Telecommunications and Information Administration, Yhdysvaltain kansallinen televiestintäliitto.

Wi-Fi = Tuotemerkki WLAN, eli Wireless Local Area Network, langaton lähiverkkotekniikka, joka on varsin suosittu.

LTE = Long Term Evolution, edistyneempi 3G teknologia, jota on juuri otettu käyttöön Suomessa 2012.

MIMO = Multiple Input Multiple Output, on lähetystapa jossa käytetään datan vastaanottoon useampaa kuin yhtä antennia.

GPS = Global Positioning System, satelliittipaikannusjärjestelmä joka on maailmanlaajuinen.

EFR = Emergency First Responder, ensimmäisenä onnettomuuspaikalle tulevat henkilöt/laitteet.

TCP = Transmission Control Protocol, on tietoliikenneprotokolla, jolla luodaan yhteyksiä tietokoneiden välille.

3. UAV laitteiden historiaa

Niin kuin lähes kaikki tekniset sovellukset, on UAV-laitteiden ensimmäiset käyttötarkoitukset olleet sotilaallisia ja niiden historia lepääkin vahvasti sotilaallisissa sovelluksissa. Tämän lisäksi UAV-laitteet vain kasvattavat suosiotaan sotilaiden keskuudessa; ne ovat halpoja verrattuna ihmisten ohjaamiin hävittäjiin, eikä niistä koidu ihmishenkien menetyksiä, jos sellainen sattuu tippumaan. Onneksi käyttötarkoituksia nähdään, nyt myös rauhanomaisimmassa tehtävissä, voisi ilmaista, että UAV-laitteet ovat pikkuhiljaa valuneet myös siviilipuolelle. UAV-laitteen ja ohjuksen ero on yksinkertaisuudessaan siinä, että ohjus lentää yleensä kerran maaliinsa ja sitä ei ohjailta lennon aikana. Ohjus on myös paljon selkeämmin sotilaallinen tuote, jolla on ainoastaan sotilaallista käyttöä. Myös normaalia mallien pientymistä on tapahtunut ajan saatossa, jopa korostuneesti verrattuna ”oikeisiin” lentokoneisiin; mahdollisimman pieni koko on yksi UAV-laitteen tärkein ominaisuus. Uusimpana näytteenä UAV-laitteiden pientymisestä ovat olleet MAV-laitteet. MAV on lyhenne sanoista Micro Air Vehicle. Nämä laitteet ovat ottaneet vaikutteita elävästä elämästä ja pyrkivät usein matkimaan erilaisten hyönteisten lentotapoja, ja täten pyrkivät myös olemaan hyönteisten kokoisia. Pienimmät nykyiset MAV-laitteet ovat läpimitaltaan 15 senttimetriä.

Ensimmäinen UAV-laite näki päivänvalonsa 1849 Itävallassa elokuun 22, kun silloinen Itävalta-Unkari hyökkäsi kuumien ilmapallojen, jotka oli paketoitu räjähteillä, avulla Italian Venetsiaan. Idea oli tiputtaa ampumalla pallot kaupunkiin, mutta osa kääntyi tuulen johdosta omien joukkojen päälle. Sanan nykyisessä merkityksessä varsinaisista UAV-laitteista ei ollut kysymys, mutta konsepti eli jo tässä esimuodossa vahvana: ohjata lentävä laite sinne, minne ei itse ihminen pääse tai kannata mennä. Nykyaikaan peilattuna UAV-laitteiden hyödyt ovat näiden pointtien lisäksi hyvin moninaiset. Pelkästään informaation määrä, mitä voidaan ottaa vastaan UAV laitteista, on moninkertainen, mihinkään muuhun ilmailutiedustelun metodiin verrattuna.

UAV-laitteiden kehitys on voimakkainta siis edelleen sotilaallisella puolella, mutta kehitystyö suuntautuu nykyisin myös voimakkaasti yksityiselle puolelle. Suurimpia kehityssektoreita sotilaallisen kehityksen lisäksi ovat: tutkimus-, kaupalliset ja hallinnolliset sovellukset.

Tämä näkyikin edelleen selkeästi, jos tutkitaan UAV-laitteiden historiaa: Ensimmäisessä maailmansodassa nähtiin ensimmäiset ilmataistelut, mutta myös UAV-laitteita kehitettiin eteenpäin. Ensimmäistä kertaa pyrittiin AM-radioaaltoilla ohjaamaan lentävää laitetta. Nämä lentävät laitteet olivat lähinnä tarkoitettu zeppeliinejä vastaan, ”lentävä pommi” oli tarkoitus ohjata zeppeliiniin ja tiputtaa se alas. Ensimmäistä kertaa käytettiin gyroskooppeja lennon tasaamiseen, gyroskooppi onkin hyvin oleellinen keksintö, joka on auttanut UAV-laitteiden kehitystä eteenpäin. Mainittakoon esimerkiksi japanilainen Drone-UAV, jossa on kolme gyroskooppia; yksi vertikaaliseen lentoon, yksi horisontaaliseen sekä yksi siihen, että laite havaitsee miten päin se on maahan nähden. Ensimmäiset gyroskooppien tarkoitus oli lähinnä pitää huoli siitä, että laite lensi suoraan kohteeseensa, eikä alkanut vaappumaan ilmassa menettäen lentokorkeutta.

Toisen maailmansodan aikaan kehitystä jatkettiin, siihen mihin se oli jäänyt ensimmäisen maailmansodan loputtua. Radioaaltojen käyttö ohjauksessa oli kehittynyt esimerkiksi Reginald Dennyn ansiosta, joka vuonna 1935 ehdotti kauko-ohjattavien lennokkien käyttöä halpoina harjoitus maaleina ilmatorjunta joukoille. Vuonna 1941 Yhdysvaltain laivasto, kiinnitti ensimmäistä kertaa kameran tällaisen lentävään kauko-ohjattavaan lennokkiin. Vuonna 1942 UAV-laite pudotti torpedon veteen, joka upotti maalialuksen, edelleen tosin harjoitus olosuhteissa. Tässä vaiheessa Yhdysvaltain laivaston osasto, joka oli erikoistunut ilmasotaan, ehdotti 1000 kappaleen tilaamista kyseistä TG-2 UAV-laitetta. Kyseinen tilaus jäi sisäisen laivaston sisäisen kiistelun kohteeksi, eikä edennyt itse sodan aikana eteenpäin. TG-2:a käytettiin kerran sodan aikana Solomon saarilla japanilaisia kauppa-aluksia vastaan, puolet laitteista saavutti paikallaan olevat kohteensa ja osuivat, kaksi muuta menivät läheltä ohi.

Kylmän sodan aikana rahaa poltettiin valtavia määriä eri aselajien kehittämiseen, mukaan lukien UAV-laitteet. UAV-laitteet olivat edelleen perinteisiä polttomootorilla toimivia propelli koneita, mutta edelleen UAV-laitteet toimivat lähinnä maaleina harjoituksissa. Ensimmäistä kertaa UAV-laitteella lennettiin myös radioaktiivisen pilven läpi vuonna 1948, Bikini-atollien ydinkokeessa ja tässä vaiheessa varmasti heräsi suurempi ymmärrys sotilaspiireissä, että kyseiset laitteet voivat mennä sinne minne ihminen ei voi mennä. Sama koe toistettiin vuonna 1951 kun jälleen kerättiin tietoa miten ydinpommin aiheuttama pilvi vaikuttaa mekaniikkaan ja lento-ominaisuuksiin.

Pikkuhiljaa kun UAV-laitteiden menestys prosentti nousi tekniikan johdosta, alettiin niille antaa vaativimpia tehtäviä. Tällä kertaa kiinnittämään huomiota mahdolliseen tiedusteluun ja sen toteuttamisessa UAV-laitteiden avulla. Yhdysvaltain ainoat tiedustelu lennokit olivat U2:t, joissa oli yhden hengen miehistö. Pelot siitä, että kyseinen kone ammuttaisiin alas ja amerikkalaislentäjä jäisi vangiksi, ajoivat suurempia resursseja UAV-laitteiden kehittämiseen. Vietnamin sodan aikana Yhdysvallat käyttikin vuosien 1964 ja

1975 välillä 3435 Ryan-tiedustelulennokkia, joista 554 ei koskaan palannut takaisin. Tässä vaiheessa UAV-laitteet löivät itsensä läpi sotilastiedustelussa lopullisesti.

4. UAV-laitteiden mallit ja käyttötarkoitukset

Periaatteessa UAV-laitteet voi jakaa karkeasti kahteen eri luokkaan; MAV:t eli Micro Aerial Vehicles, eli mahdollisimman pienet miehettömät lennokit, sekä UAV:t eli Unmanned Aerial Vehicles, joiden koko vaihtelee enempi tarkoituserien mukaan. Tässä kappaleessa esittelen näiden kahden ”perusmallin” erilaisia variaatioita.

Käyttötarkoitukset ovat moninaiset nykyään ja tekniikan kehittyessä tulevat vain kasvamaan. Ne voi karkeasti jakaa sotilaallisiin sekä siviilitarkoituksiin.

Sotilaalliset ja siviilikäyttötarkoitukset pitävät sisällään:

- Houkutuslintu eli UAV toimii maalina vihollistulelle, tällä yritetään välttää ihmishenkien menetys ja kalliimpien laitteiden vaurioituminen tai menettäminen.
- Tiedustelu eli hankitaan taistelukentästä tietoa, joka etukäteen tai ”suorana lähetyksenä”.
- Taistelutoiminta eli UAV:n hyökkää tarvittavilla välineillä suoraan vihollista vastaan, yleisesti käytetään korkean riskin tehtävissä, jotta välttyään ihmishenkien menetyksiltä.
- Logistiikka, liikutetaan tarvittavaa materiaalia paikasta toiseen. Näissä tehtävissä käytetään yleensä tehtävään suunniteltua UAV laitetta.
- Tutkimus ja kehitys, käytetään saatua tietoa ja uusia tekniikoita toimivampien UAV laitteiden kehittämiseen.
- Siviili- ja kaupalliset käyttötarkoitukset, eli etsitään keinoja joilla voimme helpottaa jokapäiväistä elämää, arkielämässä ja katastrofitilanteissa sekä samalla laskea ihmisille aiheutuvaa uhkaa näissä tilanteissa.

UAV laitteet on myös karkeasti jaettu lentokorkeuden ja toimintasäteen mukaan kategorioihin:

- Kannettava UAV, lentokorkeus 600 metriä, toimintasäde noin 2 kilometriä.
- Lähialue UAV, lentokorkeus 1500 metriä, toimintasäde 10 kilometriä.
- NATO mallinen UAV, lentokorkeus 3000 metriä, toimintasäde 50 kilometriä.
- Taktinen UAV, lentokorkeus 5500 metriä, toimintasäde 160 kilometriä.
- MALE UAV (Medium Altitude, Long Endurance), lentokorkeus 9000 metriä, toimintasäde yli 200 kilometriä.
- HALE UAV (High Altitude, Long Endurance), lentokorkeus yli 9100 metriä, toimintasäde loputon ilmatankkauksen, aurinkopaneelien ja ilmavirtausten avulla.

- HYPERSONIC eli ylääänen nopeuksia lentävä UAV, lentokorkeus yli 15200 metriä, toimintasäde yli 200 kilometriä.

Eli näillä ominaisuuksilla ja luokituksilla varustettuja UAV laitteita käytetään moniin eriin tarpeisiin ja toimintoihin. Yleisin on ympäristön havainnointi eli lähinnä tiedustelu ja alueen kartoittaminen erilaisiin tarpeisiin. UAV laitteiden avulla on helppo saada suurestakin alueesta tarkkaa tietoa nopeasti. Toiset vähemmän käytetyt käyttötavat ovat logistiikka, eli tavarantoimitus ja ympäristön interaktiivinen käsittely UAV laitteen instrumenttien avulla.

Näihin kuuluvat etäkartoitus, joita suoritetaan modernien välineiden avulla esimerkiksi koko elektromagneettisen spektrin alueella, eli kaikki ihmissilmän näkyvä valo ja sen ulkopuolella jäävä infrapuna- ja ultravioletti-spektri. Samalla laitteisiin modifioidaan yleensä tutka, jolla voidaan mitata syvyyksiä ja maaperän korkeuseroja. Erikoisempiin mittavälineisiin kuuluvat gammasäteilyn, biologisen- ja kemiallisen toiminnan mittaamisen tarkoitetut instrumentit. Esimerkiksi on helppo kuvitella, että laajassa ydinonnettomuudessa mitataan radioaktiivista säteilyä. Biologiset mittarit mittaavat esimerkiksi hiukkasten määrää tai mikro-organismien määrää ilmassa. Kemialliset mittalaitteet mittaavat taasen ilmasta alkuaineiden määrää ja laatua, käyttäen apuna laserspektroskooppia.

Kaupallisessa ilmalavonnassa, jota suoritetaan esimerkiksi suurten alueiden kuten peltöjen ja karjan tarkkailuun. Suurten metsäpalojen tarkkailuun, putkiston tilan tarkkailuun, varkauden estoon (tarkkaillaan naapurustoa ilmasta käsin) sekä liikenteen tarkkailuun. Tämän lisäksi niin vapaan Internetin edustajat, eli piraatit kuin heidän vastustajansa ovat kiinnostuneet UAV:n suomista tarkkailu- tai vaihtoehtoisesti tiedon piilotusmahdollisuuksista. Mainittakoon, että piratebay.org kerää rahoitusta, jotta voisi toimittaa ylempään ilmakehään ilmapurkauksen mukana liikkuvia palloja, jotka pitäisivät heidän tarvitsemiaan tietoja. Tämä tekisi ymmärrettävistä syistä piratismiin torjunnan vaikeammaksi. Ilmalavonta on osa-alue, joka on viime vuosina kasvanut kaikkein voimakkainten.

Mineraalienetsintä sekä öljyn- ja kaasuntuottamisen tarkkailu on luonnollisesti myös huipussaan ja UAV:t ovat oikein varustettuna oiva väline uusien vähenevien mineraalilöytöjen etsimiseen. Maaperän geofysiikkaa tutkitaan erityisesti maapallon magneettikentän mittaamisella. Näillä tiedoilla voivat geofyysikot tulkita mineraalien esiintymä tiheyttä kartoitetulla alueella. Öljyn- ja kaasuntuotannossa tarkkaillaan tuotantolaitosten hävikkiä ja tehokkuutta.

UAV laitteet kykenevät myös toimittamaan rahtia vaikeisiin paikkoihin nopeasti. Suurin osa rahdista laitetaan itse UAV:n sisäiseen rahtiruumaan, josta se tiputetaan esimerkiksi apua tarvitseville palomiehille. Joissakin UAV laitteissa on myös mahdollisuus kiinnittää rahti koneen ulkokuoreen, mutta tässä tapauksessa lento-ominaisuudet kärsivät luonnollisesti.

Koska UAV:t voidaan lähettää alueille, jotka ovat liian vaarallisia ihmisten ohjaamille lentäville laitteille, voidaan UAV laitteita käyttää tieteellisissä tutkimuksissa, kuten hurrikaanien ja muiden vaarallisten sääilmiöiden havainnointiin. Esimerkiksi Australiassa käytetään Aerosonde UAV laitetta, joka lennätetään hurrikaanin sisään, josta se lähettää tietoa myrskyn suunnasta, voimakkuudesta ja nopeudesta.

Pelastustoiminta, eli lähinnä kohteen etsintä ja sen jälkeen muitten instanssien suorittama pelastus on myös UAV laitteiden omimpia alueita. Tämä todettiin vuonna 2008 kun hurrikaanit iskivät Yhdysvalloissa Teksasin ja Louisianan osavaltioihin. Kartoitettiin hätää kärsivä alue ja alueen sisällä olevat ihmiset. Alueista otettiin myös kuvat ennen ja jälkeen myrskyjen, jotta oli helppo määrittää tuhojen laajuus ja aste. Tähän käytettiin tarkkailuvälineitä, jotka kykenevät kuvaamaan pilvien läpi. UAV laitteilla voi myös suorittaa kadonneen henkilön etsintää tehokkaasti.

4.1 MAV:t

MAV:t eli Micro Aerial Vehicles ovat UAV laitteista pienempiä, niille on määritetty mitat, kuten koko ja paino. Ne ovat siis mahdollisimman pieniä lentäviä laitteita. Pienuus tietenkin tuo tiettyjä etuja, mutta myös tiettyjä teknisiä ja fyysisiä rajoituksia. Pieneen laitteeseen sääolosuhteet vaikuttavat tietenkin herkemmin ja käyttötarkoitukset ovat rajoitetumpia, yksilöidympiä, rajoitetun koon takia. Vain tietty määrä tekniikkaa mahtuu mukaan ja esimerkiksi ympäristön tutkimiseen tarkoitettu kamera on oltava pienempi jne. Etuina ovat taasen pienen koon tuomat edut, esimerkiksi tarpeeksi pieni MAV pääsee liikkumaan vaikka ilmastointi kanavissa. Alhainen melutaso ja laitteen vaikea havainnointi ovat taasen etuja tiedustelussa, ja miksei urbaanin alueen kartoituksessa; asukkaiden vaikea häiriintyä laitteesta, jota ei havaitse. Nykyiset MAV:t ovat pienemmillään 15 senttimetriä halkaisijaltaan leveimmästä kohdasta. Lähitulevaisuudessa odotetaan valmistuvan ensimmäinen hyönteisen kokoinen MAV, esim. DelFly MAV on ison sudenkorennon kokoinen laite, mutta kyseissä laitteessa akkukesto on vain noin kolme minuuttia. Yhdysvaltain Ilmavoimien tutkimusosaston on tarkoitus kehittää linnunkokoinen (laite esittää lintua, jotta se ei erottuisi ympäristöstä) vuoteen 2015 mennessä ja hyönteisen kokoluokkaa oleva laite vuoteen 2030 mennessä. Luonnollisesti

voidaan olettaa, että Yhdysvaltain armeijalla on jo käytössä kyseisiä laitteita, ainakin koekäytössä, koska tämän luonteiset sotilaalliset keksinnöt eivät valu heti yleiseen tietoisuuteen. Niitä pidetään luonnollisesti sotilassalaisuuksina.

MAV:t ovat yleensä kiinteäsiipisiä (kuten lentokoneet) tai pyörivillä lavoilla (kuten helikopterit) tai sitten ne matkivat hyönteisiä ja itse asiassa räpyttelevät ”siipiään”. Jokaisella eri mallilla on erilaiset lento-ominaisuudet ja ne toimivatkin eri tavalla sekä niille on omimmat toimintaympäristöt missä ne ovat tehokkaimmillaan. Kiinteät siivet omaavat MAV:t tarvitsevat korkeita lentonopeuksia ja niillä saavutetaan suurempi nopeus ja lentokorkeus kuin kahdella muulla mallilla. Helikopteri mallilla pystyy lentämään pienissä tiloissa, esimerkiksi talon sisällä, mutta toimintasäde lyhenee. Räpytteleviä siipiä käyttävä MAV olisi ylivoimainen mitä tulisi ketteryteen, mutta tekniikka on vielä keskeneräistä kyseisen mallin kohdalla. MAV-laitteissa konkretisoituu luonnon matkiminen; mitä luonto on toteuttanut miljoonien ja taas miljoonien vuosien saatossa evoluution kautta, pyrimme nopeammin teknisesti matkimaan tätä evoluution tulosta. Tämä on itse helppo nähdä ja tajuta seuraamalla esimerkiksi em. sudenkorenon lentoa: Tulevaisuudessa kun pystymme rakentaman laitteen joka kykenee lentämään kuten sudenkorento ja kantamaan mukanaan vaikka infrapunakameraa, olisi laite varsin käyttökelpoinen. Onkin tärkeää, että MAV-laitteiden kehittäjät ymmärtävät lintujen sekä hyönteisten lentotavan ja ominaisuudet, jotta niitä pystytään tehokkaasti matkimaan ja siirtämään koneelliseen muotoon. Hyönteisten jälkeen suurimman mielenkiinnon kohteena ovat olleet kolibrin lentotapa. Kolibri pystyy hämmästyttäviin suorituksiin ilmassa, joten luonnollinen askel on, että pyrimme sitä matkimaan.

Nykyisin löytyy esimerkiksi sosiaalisesta mediasta harrastelijoiden kuvaamia pätkiä esimerkiksi mielenosoituksista, joissa kamera on yksinkertaisesti kiinnitetty kauko-ohjattavaan helikopteriin. Kyseiset pätkät ovat hyvin näyttäviä ja mielenkiintoista katseltavaa. Tulevaisuudessa MAV:n pitää lentää ilman ohjausta, automaattisesti. Tämä vaatii kehittyneitä tekniikkaa, esimerkiksi jotta laite kykenee väistämään sähköjohtoja, ja muita liikkuvia pieniä esteitä sekä tekemään itsenäisiä päätöksiä valittavasta lentoreitistä. Pitkällä tässä kehitystyössä on Tamkangin yliopisto Taiwanissa; siellä on kehitetty usean vuoden ajan 8 gramman ja 20 senttimetrin levyistä MAVIA, joka kykenee itsenäisesti päättämään lentokorkeuden. Päätöksen se tekee havainnoimalla ympäristöään stereonäkö laitteella, sekä maa-aseamalla, joka lähettää sille tietoa ympäristöstä. MAV laitteille tämä onkin tällä hetkellä yksi harvoista toimivista ratkaisuista, koska perinteiset tekniset laitteet ympäristön havainnointiin ovat liian painavia. Toinen edistynyt ja pieni MAV laite on Delftin yliopistossa Hollannissa kehitettävä Delfly ornitopteri. Kyseinen laite on pienin kameralla varustettu MAV. Delflyn kehitystyö alkoi vuonna 2005 ja nykyisen versio Delfly Micro on siipienkärkiväliltään 10 senttimetriä ja painaa 3 grammaa. Se on vain hiukan isompi ja äänekkäämpi kuin luonnossa elävä esikuvansa, sudenkorento.

Delflyssa suurin ongelma on paristo, joka painaa yhden gramman ja vie painon hyötysuhteesta kolmanneksen. Jatkossa onkin tärkeää, että pienissä MAV-laitteissa riittää virtaa kaikille laitteille, jotka edes auttavat laitteen autonomisessa lentämisessä ja navigoinnissa. Lentometodin lisäksi ainakin gyroskooppi, ympäristön havainnointi, kommunikointi maapisteen kanssa sekä ainakin yksi laite, olkoon se mikä tahansa mitä MAV:n on kiinnitetty, tarvitsee virtaa toimiakseen. MAV-laitteiden kehityksen kannalta onkin nyt otollista aikaa, koska kevyillä ja pitkäkestoisille akuille on kova tarve, johtuen esimerkiksi älypuhelimista. Joka tapauksessa kehitystyö MAV:n suhteen on vielä kesken, eikä mitään kaupallista toimivaa ja käytännöllistä mallia ole vielä onnistuttu rakentamaan: MAV:t ovat niin pieniä, että niitä ei pysty näkemään kovin kaukaa, joten niitä on hyvin vaikea ohjata. Ohjaus onnistuu kameran avulla, mutta MAV:t ovat liian pieniä kantamaan tarpeeksi voimakkaita lähettämiä pitkille etäisyyksille, joten ainoa looginen vaihtoehto on rakentaa em. autonomisia MAV-laitteita. Seuraava kehitysaskel MAV:lle on NAV:t (Nano Air Vehicles), jotka ovat nanoteknologian mukaan nimetty ja joista aikanaan kehitetään vielä pienempiä.

4.2 UAV:t

UAV:t ovat miehettömistä lentävistä laitteista isompia ja täten monikäyttöisempiä. Ne jaotellaan kahteen luokkaan: pienois UAV:t (Miniature UAV tai SUAV eli Small UAV). UAV-laite on pienois UAV niin kauan kun sen liikuttamiseen ei tarvita mitään kuljetusvälineitä, eli ihminen pystyy yksinään kyseistä laitetta kantamaan tarvittaessa. MAV:ja pystyy luonnollisesti myös yksi ihminen kantamaan paikasta toiseen, mutta MAV-laitteissa itse lentometodien etsiminen ja testaaminen on tällä hetkellä pääasiassa, joten ne käsiteltiin erikseen tässä opinnäytetyössä. UAV-laitteita on jo paljon käytössä, hallituksilla ja yksityisillä yrityksillä ja ihmisillä. Pienois UAV:ksi lasketaan siis tällä hetkellä laitteet joita yksi ihminen voi liikuttaa ja lähettää lentoon melko pienellä vaivalla. Paras vertaus on jos vertaa esimerkiksi raskaaseen sinkoon; eli ei mitenkään hirvittävän kätevä kantaa mukana pitkiä matkoja, esimerkiksi sotilaallisessa käytössä olevat UAV:t usein laukaistaan tukikohdasta jalalla olevan partion tueksi. Tämän jälkeen tukikohdasta otetaan partioon yhteys ja ilmoitellaan mitä UAV näkee. Tällä pyritään välttämään väijytyksiä ja pitämään partion tiedossa tulevaa maastoa ja kaikkea mitä siellä on. Tämä luonnollisesti on parempi kuin kartta, koska se on ”suoraa lähetystä”. Näissä tapauksissa yleensä ihminen ohjaa UAV:tä ja suuntaa sen mielenkiintosiilta näyttäviin kohteisiin.

Jos UAV:n suoran lähetyksen tarve ei ole niin akuutti, esimerkiksi vain tavallinen alueen esikartoitus, voidaan laite ohjelmoida lentämään tietyllä kaavalla, yksinkertaistaen 100 kilometriä pohjoiseen ja takaisin. Tämä on hyvä vaihtoehto jos jo hiukan tiedetään

maastosta ja halutaan tarkempaa kuvaa. Toinen vaihtoehto on dynaaminen lentojärjestelmä, jossa tietokone analysoi jatkuvasti lentoreittiä, siinä olevia esteitä ja muita ympäristötekijöitä. Tämä luonnollisesti vaatii kehittyneempää tekniikkaa sekä isompaa satsausta välineisiin.

UAV-laitteiden ero verrattuna ohjuksiin pidetään yleisesti sitä, että UAV laitteet reagoivat ohjaukseen, pysyvät määrättyssä lentokorkeudessa ja nopeudessa ja niissä on voimanlähteenä joko suihku- tai propellimoottori. Näistä voimanlähteistä mainittakoon vielä se, että ne pyritään tekemään mahdollisimman hiljaisiksi. Kehittyneen ohjuksen (smart missiles ja smart bombs) voidaan ajatella olevan UAV, mutta yksi helppo ero on siinä, että ohjuksen tapauksessa itse lentävä laite on ase. UAV toimii alustana siihen asetetuille välineille, jotka voivat myös olla rauhanomaisiin tarkoituksiin. Tätä laitteen monimutkaisuutta kuvaamaan on otettu käyttöön useita eri lyhenteitä; kyseessä on kumminkin kokonainen systeemi maa-aseineen. UAVS eli Unmanned Aircraft Vehicle System viittaa esimerkiksi tähän, tämän on vielä FAA (Federal Aviation Administration eli Yhdysvaltain lentoviranomaiset) on lyhentänyt muotoon UAS eli Unmanned Aircraft System.

Itse termi UAS pitää siis sisällään:

- UA Unmanned Aircraft eli itse lentävän laitteen
- Hallintajärjestelmän, laitteiston millä hallitaan UA:a. Termi tälle on GCS eli Ground Control Station
- Yhteyshenkilö, UA:n ja maa-aseman välillä, datalinkki.
- Muut tarvittavat resurssit, kuten esimerkiksi mahdollinen polttoaine, tarvittavat korjausvälineet, monitorit jne.

5. Datalinkki UAV:n ja maastukohdan välillä

Yhteys-, eli datalinkki on tiedonkulkuväylä kahden kohteen välillä, jota pitkin on tarkoitus lähettää ja vastaanottaa tietoa. Eniten on käyttöä UAV laitteiden kohdalla kaksisuuntaiselle dataliikenteelle. Näissä yhteyksissä liikenne on molempiin vastaanottoyksikköön yhtäaikaista. Perustoiminnalle, kuten vaikka esiohjelmoidulle UAV laitteelle riittää myös puolikaksisuuntainen tiedonvälitys; tässä tapauksessa tietoliikenne on kaksisuuntaista, mutta ei onnistu yhtä aikaa vaan vuorotellen.

UAV-laitteiden hallinta järjestelmä nojaa vahvasti telemetriaan, kaukomittaukseen, tieteenala, jolla voidaan mitata kohteen liikkeitä, sekä välittää sille komentoja, joko radio-aaltojen avulla tai IP verkon avulla. Telemetria juontuu kreikan sanasta tele=kauko

ja metria=mittaus. Laitteet, kuten UAV laitteet tarvitsevat UA systeemiin komentoja, eli toimintaohjeita, jotka välitetään telemetrian avulla laitteeseen. UAV laitteiden tapauksessa näiden komentojen ja tietojen välitys tapahtuu luonnollisesti langattomasti, sekä varsin usein kaksisuuntaisella datalinkillä. Kun datalinkkiä valitaan UAV laitteelle, on yleensä kaistan tarve suurempi, pelkästään kuvat ovat usein kooltaan aika isoja ja etenkin elävä kuva, joka vaatii vielä enemmän kaistaa ja nopeammat yhteydet.

Telemetriaan kuuluu myös laitteen toiminnan suunnittelu, mitä protokollaa seurataan jos datalinkki jostain syystä katkeaa. UAV laitteiden tapauksessa laite usein suuntaa takaisin alueelle missä sillä oli viimeksi toimiva linkki. Ongelmana on myös tiettyjen tekniikoiden kohdalla data-alueen tilan loppuminen, esimerkiksi radio-aallot ovat hyvin ruuhkaiset. Puolustus- ja poliisitoiminta on varannut omat alueensa käyttöön yleisesti ottaen ympäri planeettamme, mutta lopusta ”taivaan vapaasta tilasta” käydään eräällä tavalla kovaa kilpailua. Urbaani alue tuo omat ongelmansa telemetrian suunnitteluun UAV laitteille. Kuten aiemmin mainittiin, UAV laitteilla olisi hyvä suorittaa kaupungissa esimerkiksi ympäristön valvontaa varkauksien ja muiden rikosten varalta. Rakennukset luovat yleensä omat katve-alueensa, jotka vaikeuttavat vakaan datalinkin ylläpitoa. Tämän lisäksi kaupunki on jo hyvin täynnä langatonta viestintää ja hälinää. Tällä hetkellä ainoa ratkaisua tällaisiin ongelmiin on lisä tuki-asemien rakentaminen, jos olemassa olevista laitteista ei saada kaista tilaa käyttöön tarpeen mukaan. Kun UAV luovii kaupunki alueella, on myös hyvin tärkeää, että verkko, jonka avulla pidetään datalinkkiä yllä ja laitetta hallitaan, on luotettava ja vankka. Pahimmassa tapauksessa ja datalinkin menetys voi johtaa UAV laitteen putoamiseen urbaanille alueelle.

5.1 Datalinkin arkkitehtuuri ja esittely

Nykyaikainen UAV laite on tekniikaltaan ja laitteiden osalta melko monimutkainen laite. Datalinkin suunnittelu maapisteen ja UAV laitteen välillä vaatii suunnittelua esimerkiksi edellisessä kappaleessa mainittujen toimintaympäristön osalta, kuten myös minkälaista tietomäärää datalinkin pitää liikuttaa. Miten viiveet tiedonvälityksessä hoidetaan ja itse laitteiston monimutkaisuus hallitaan. Tämä tarkoittaa, että lähetin ja vastaanottaja, antennia myöten pitää olla ajan tasalla ja tarkoituksen mukaisesti suunniteltu, sillä ne tuovat omia kompromissien kohteita koko UA systeemin suunnittelussa, alkaen rakenteellisesti päätöksistä. Viime tilassa myös raha määrää, minkälainen järjestelmä UA systeemiin asennetaan ja millä sitä hallitaan.

On myös tärkeää huomioida, että kunhan UAV laitetta hallitaan paikallisesti esimerkiksi UHF, eli Ultra High Frequency, jotka ovat siis mikroaaltojen taajuusalue. Tässä työssä

tarkoituksenmukaisesti kiinnitetään enemmän huomiota lyhyempään paikalliseen kantamaan. Jos UAV laite on vaikkapa UHF antennin alueella, jonka kantama on 5 kilometriä, voi käyttäjä hallinnoida koko UA systeemiä 4G-verkossa vaikka toiselta puolen maailmaa. OFDM eli Orthogonal frequency-division multiplexing eli DMT-modulointi (Discrete Multitone) perustuu tiedon siirtoon lukuisilla toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla yhtä aikaa. OFDM modulointia käytetään useissa eri järjestelmissä ja se sopii myös mainiosti UA systeemiin. Tiedonjaon allokatio on tärkeä ominaisuus datalinkin suunnittelussa, jotta datalinkkiä kuormitetaan oikein. Pelkästään virran kestäminen itse UAV laitteeseen vaatii tämän. Kun käsitellään OFDM:ä pitää myös käydä hiukan läpi FFT:ä eli Fast Fourier Transformia, johon perustuu nykyisin käytössä olevat OFDM-menetelmät. Kerralla moduloitava symboli vastaa kompleksilukuina esitettyjä taajuuksien voimakkuuksia ja vaihekulmia, jotka sitten muunnetaan diskreetillä Fourier-käänteismuunnoksella digitaalisen signaalin vaihteluiksi. Digitaalinen signaali muunnetaan D/A-muuntimella analogiseksi kantataajuiseksi OFDM-signaaliksi. Kantataajuista signaalia voidaan käyttää sellaisenaan, tai sillä voidaan moduloida radiotaajuista kantoaaltoa. Demoduloinnissa käytetään diskreettiä Fourier-muunnosta: yhtä symbolia vastaavaan lohkoon kuuluvat A/D-muuntimelta saatavat näytteet muunnetaan kerralla taajuuskanavien voimakkuutta ja vaihetta kuvaaviksi kompleksiluvuiksi. Kanavan kompleksilukua lähinnä vastaava bittikuviokuva valitaan demodulointitulokseen. FFT:n algoritmi hoitaa myös signaalimuunnoksen signaalin, prosessorin ja esimerkiksi lentorataa muuttavan moottorin välillä. Olettamuksena OFDM teknisesti adaptoituu muuttuvaan koodiin ja eri bittinopeuksiin. Samalla ohjelma seuloo mahdolliset kaksoislähetykset sekä pakettivirheet.

Datalinkin haasteet ovat ensimmäisenä siis tarvittavan etäisyyden mukaan peilaaminen, jolloin pitää miettiä tiedon määrää mitä kulkee datalinkin kautta, laitteiden monimutkaisuus joita hallitaan, viiveet ja toimintaympäristön luomat haasteet sekä virrankulutus ja koko tämän järjestelmän hinta. Lähialueen UAV laitteissa, joita hallitaan paikallisesti, tärkeimmät ominaisuudet ovat luotettavuus, alhaiset kustannukset ja kohtuullinen bittiliikenne.

5.2 UA systeemin lähetin ja vastaanotin

Yleensä yksinkertainen lähetin muodostuu voimalähteestä, oskillaattorista, millä tuotetaan lähettimen taajuus. Tämän lisäksi siihen kuuluvat modulaattori, laite joka muuttaa siihen syötetyn signaalin tarvittavaan muotoon, vahvistimen sekä antennin, jota pitkin tieto lopulta lähtee itse laitteella. Antennin tärkeä fyysinen ominaisuus on niiden suunnattavuus tai vaihtoehtoisesti vahvistimen, eli signaalin voimistaminen tarvittavan

voimakkaaksi, jotta se tavoittaa UAV laitteen. Lähetys toimitetaan nykyaikana PM, eli Phase Modulation muodossa digitaalisesti. PM tekniikalla lähetetään kantoaallon pulssi kerrallaan. Tämän jälkeen seuraava pulssi lähetetään vähän erivaiheisena, esimerkiksi hiukan myöhemmin. Viesti lähtee vaihesiirtoina lähettimestä vastaanottimeen, joka matkalla kärsii häiriöistä, eikä sellaisenaan alkuperäisenä pääse perille. Vaihesiirrot aiheuttavat siis eriasteisia häiriöitä siirtotielle, tähän vaikuttaa aikaisemmin mainittu FFT. Käyttämämme tiedonvälitys menetit ovat siis elementtien vaikutuksen alaisena, olkoon ne sitten ihmisten tai ympäristön aiheuttamia esteitä. FFT muunnosta käytetään signaalin taajuustason muuttamiseen oskillaattorin avulla. Tämän lisäksi vaihdeaaltojen hyviin ominaisuuksiin kuuluu, että niitä on helppo tuottaa ja poimia signaalista jatko käsittelyyn. Vaihemodulointi voidaan yhdistää amplitudimodulointiin, jolloin kantoaallon vaiheen lisäksi moduloidaan sen amplitudia. Tämä tekniikka on omiaan myös nykyaikaisille UA systeemeille. Vastaanotin pitää taasen sisällään demodulaattorin, kantoaallon muuntimen sekä antennin, jolla otetaan vastaan lähettimen signaali.

5.3 Datalinkin tiedonsiirron tekniikka

Tässä tapauksessa pitää käsitellä QAM, eli Quadrature Amplitude Modulation, mikä on modulointitekniikka, joka sekoittaa uutta ja vanhaa. Kyseessä on tekniikka, jossa edellä mainitun vaihemodulaation (PM) sekä amplitudimodulaation (AM), eli Amplitude Modulation, kantoaallon modulointi tapa, jossa signaalia toimitetaan muuttamalla sen voimakkuutta, eli amplitudia. Menetelmä on yksinkertainen ja tehokas, mutta melko altis häiriöille. Vanhimmat lukijat saattavat muistaa radioista AM asennuksen. Mikä amplitudimodulaatiossa tekee vielä nykyäänkin käyttökelpoisen tekniikan, on sen ominaisuus, missä voimalla korvataan ikään kuin tekninen hienous. Signaalin koko kirjon kaistanleveys on kaksi kertaa moduloivan signaalin kaistanleveyden suuruinen. Eli kun yhdistetään vaihemodulaation finessi ja amplitudimodulaation voima, saadaan QAM, jossa riittää ominaisuuksia vaativaankin käyttöön.

Tarkemmin siis QAM pitää sisällään niin analogisen kuin digitaalisen signaalin. QAM tekniikka välittää joko kaksi analogista signaalia tai kahta digitaalista bittisiltaa vaihtamalla joko analogisten viestien voimakkuutta tai vaikuttamalla vaihekulmaan. Kummatkin ominaisuudet voivat tapahtua yhtä aikaa riippumatta toisistaan. Tähän se käyttää avukseen ASK tekniikkaa, eli Amplitude-shift keying, modulointitekniikkaa, joka esittää digitaalisen tiedon kantoaallon taajuuksien muunnoksina. Jokaisella digitaalisella modulaatiolla on rajoitettu määrä toisistaan eroavia signaaleja, joita se voi käyttää. ASK modulointitekniikka käyttää rajatun määrän taajuuksia, joille on määritelty uniikki binääriluku, jotta ne eroavat toisistaan. Yleensä jokainen uniikki taajuus purkaa

vastaavan määrän bittejä ja binääriluku taas muodostaa symbolin, joka merkitsee tiettyä taajuutta. Tähän tarvitaan kaksisuuntaista viestintää, mutta liikkuvan tiedon tarkastaminen on helpompaa. Demodulaattori, joka ottaa symbolit vastaan on erityisesti suunniteltu tietyille symboleille, jotka voivat myös olla salaisia. Tämän koodin purkaminen on halpaa, mutta huonoihin puoliin kuuluu ASK:ssa se, että se on herkkä ilmakehän häiriöille sekä lineaarisuus, se kestää huonosti esteitä signaalin tiellä. Toinen keino millä QAM:a siirretään PSK, eli Phase Shift Keying, suomeksi vaihdemodulointi on modulaatiomenetelmä, joka on luonteeltaan eksponentiaalinen. Vaihmoduloinnissa moduloiva signaali, viesti, muuttaa kantoaallon vaihetta suoraan ja hetkellinen vaihe kertoo sanoman arvon. Myös tähän modulointimenetelmään liittyvät binääriluvut, sillä niiden avulla määritetään mitä vaihetta käytetään millekin binäärisen symbolin arvolle. Vaihmoduloinnissa pitää lähettimen ja vastaanottimen olla synkronoituna, muuten data on vääristynyttä eikä modulaatio toteudu.

6. Datalinkin toiminta

Kun on käsitelty melko monimutkaista teoriaa ja tekniikkaa varsin yksinkertaisten toimintojen takaa (lennä kohteesta A kohteeseen B esimerkkinä), voidaan siirtyä käsittelemään yksittäisiä tiedonsiirtotekniikoita UAV laitteen ja maapisteen välillä. Datalinkin tyypit ja vaatimukset voidaan jakaa erilaisten tarpeiden mukaan. Suuri luotettavuus vaatii kohtalaisen tiedonsiirron, joita hyödynnetään suurella teholla. Jos taas sensoreista halutaan paljon tehoja, pitää panostaa tiedonsiirto korkeimmilleen, esimerkkinä suora videokuva UAV laitteesta.

Datalinkkiä suunniteltaessa pitää seuraavat kohdat ottaa huomioon, eli miten datalinkki selviää lentokohtaisesta tiedonsiirrosta, miten tietovirtaa hallitaan, miten hoidetaan datan puskurointi ja tiedon priorisointi. Tämän lisäksi pitää miettiä fragmenttien vastaanotto ja kokoaminen, linkin luotettavuus ja mitkä ovat viallisen linkin korjausmenetelmät. Luotettavuus, datan määrän kasaantuminen/kuivuminen sekä katkomisongelmat hoidetaan tarpeeksi isolla puskuroinnilla. Häätätapauksessa myös autonomisen hätäohjelman käyttö UAV laitteessa on suositeltavaa. Puskurointi pitää olla molemmissa päissä, niin vastaanottimessa kuin lähettimessä. Jotta vältetään edellä mainittujen erityyppisten datan törmäily, pitää jokaiselle datatyypille olla oma puskurointi. Minimivaatimukset luotettavan tiedonsiirron protokollaan on se, että tekniikka tunnistaa jokaisen viestin session sisällä ja numeroi sen oikein määriteltyjen parametrien mukaan. Lähettää takaisin vielä takaisin viesteistä, mitkä numerot sessiosta ovat tulleet läpi. Puskurointi pitää myös pitää puhtaana ja jos joku tieto ei täsmää session numeroinnissa järjestelmän pitää lähettää korjauspyyntö. Suorituksen maksimoimiseksi

pitäisi UA systeemin protokollan kyetä ottamaan vastaan viestit, varastoida ne väliaikaisesti puskuriiin ja olla valmis ottamaan vastaan korjausviestit. Suurien tietomäärien johdosta, pitää laitteen kyetä ottamaan nämä suuret viestit koota ne ja käsitellä ne. Myös päivitykset kuuluvat tähän, eli että UAV laitteella voidaan lähettää päivitysohjelmia, jopa lennon aikana. Kaikkia näitä ominaisuuksia kuten puskuroiden kokoa pitää tulla pystyä muuttamaan. Se lisää monikäyttöisyyttä ja pidentää yhden lennon aikaa.

6.1 GPRS

GPRS, eli General Packet Radio Service on GSM verkossa toimiva (Global System for Mobile Communications, GSM on digitaalinen). GPRS on pakettikytkentäinen tiedonsiirtojärjestelmä, eli tieto päätetään paketteihin ja nämä paketit lähetetään eteenpäin. Tämä metodi tekee sen, että tiedonsiirto on ikään kuin yhteydetöntä, koska jatkuvaan yhteydenpitoon, eli kaistan varaamiseen ei ole tarvetta. Verkosta ei varata reittiä, joka on jatkuvasti auki päästä päähän tai valmista siirtokapasiteettia, tiedonsiirtoa varten. Pakettikytkennässä paketit välittyvät perille osoitteen mukaan eri reittejä, sekä saattavat tulla perille eri järjestyksessä kuin lähtivät. Pääasiallinen käyttö on langottoman yhteyden muodostaminen matkapuhelimen ja Internetin välille. UAV laite tarvitsee yhteyden muodostamiseen siis GPRS-sovittimen, joka on kokonsa, painonsa ja virrankulutuksensa puolesta oiva sovitin. Tämän voi havainnoida tutkimalla matkapuhelimia. GPRS tekniikan optimaalinen maksiminopeus on 114kb/sekunnissa, mutta käytännössä nopeudet jäävät noin puoleen tästä. Toinen ongelma on latenssi, joka on 600-700 millisekuntia, joka voi olla toimintaympäristö riippuen liian pitkä aika esimerkiksi hätä suunnanmuutoksiin, varsinkin suuremmissa nopeuksissa. GPRS käyttää tiedonvälitykseen radioaaltoja, joka on varsin hyvä tapa lentävien laitteiden hallintaan. Pakettimuotoinen tiedonsiirto, jos siis ei olisi edellä mainittu viivettä, hyvä puoli taasen on siinä, että yhteyttä voi pitää päällä kokoajan. Verkkoa tai yhteyttähän se ei kuormita kuin vasta silloin kun paketteja liikkuu signaalina lähettimestä vastaanottimeen. Data liikkuu siis ikään kuin muuttumatonta kaistaa pitkin, joka on kokoajan auki, mutta kuormittuu vain kun siinä on liikennettä, eli tähän sopisi yksinäinen autotie vertaus varsin hyvin. Kun ottaa huomioon GPRS metodin huonoja puolia ja hyviä puolia, niin ainoita UAV laitteita, joille kyseistä metodia voi suositella, ovat autonomiset UAV laitteet. Periaatteessa jos itse UAV on hyvin luotettava, sille voisi esimerkiksi lähettää käskyjä pelkästään tekstiviesteillä. Tiedon purkaminen lennosta olisi tuskallisen hidasta ja helpompaa olisikin purkaa valinnaisesti talletuslaitteesta saatu tieto. Tässä mielessä GPRS tekniikalla toimivasta UAV:stä tulee mieleen ensimmäiset vakoilukoneet, joille lennettiin

kiinnostavan kohteen yli, kuvattiin se, jonka jälkeen lennettiin takaisin ja kehitettiin kuvattu filmi. Eli ei minkään nopean toiminnan tai hätätilanteen tekniikkaa.

Missä GPRS tekniikalla toimivaa UA systeemiä voisi sitten käyttää? Näkisin ainakin, että kiinnostus on suuri, koska tekniikka on olemassa, se on maailmanlaajuista, helppo käyttää ja ottaen muut kustannukset ja alan huomioon, hyvin halpaa. Oletus on, että autonomisten UAV laitteiden ei tarvitse olla jatkuvassa kontaktissa maapisteen kanssa, koska niiden ei tarvitse, eli niitä ei käytetä esimerkiksi katastrofitilanteissa. Eli jos UAV laitteen käyttötarkoitus on GPRS tekniikalle sopiva, on se mitä sopivin vaihtoehto. Otetaan esimerkiksi vaikka edellä mainittu piraattien tukiasema, joka pitää tietoa linkeistä sisällään. Jos kyseinen laite toimisi päivin aurinkoenergialla, öisin akkujen varaamalla energialla ja lentäisi pilvien yläpuolella, niin sen ei tarvitsisi jatkuvasti olla datalinkin päässä hallittavissa, kuten esimerkiksi sotilaallista tehtävää suorittava UAV. Se ikään kuin jauhaisi taustalla tasaisesti ja jos tekniikka olisi tarpeeksi luotettavaa, niin kyseisellä UAV laitteella ei olisi tarvetta edes tulla alas. Se autonomisesti väistäisi ilmassa mahdollisesti olevia esteitä, mutta tätäkin olisi tavallaan helppo ennakoida valitsemalla tietty lentokorkeus ja lentoreitti. Tässä tulee vastaan tosin muita teknisiä ongelmia kuten signaalin vahvuus ja mihin saakka se riittää. Uudemmat tekniikat toimivat tässäkin paremmin, ilman että antennin tehoja tarvitse nostaa todella suuriin lukuihin. Toinen pointti mikä tekee GPRS tekniikasta mielenkiintoisen, on sen liikuteltavuus, itse hallintalaite voi olla myös todella pieni. Tällaisen autonomisen UAV laitteen hallintaan GPRS tekniikka voi olla ihan sopiva, olettaen että tietyt määrityksen eivät ylitä: datalinkin kautta kulkeva tietomäärä on hyvin rajallinen verrattuna muihin vaihtoehtoihin, salaus ei ole sataprosenttinen ja UAV laitteen pitää päästä lentämään tasaista lentoa, ilman suuria manööverejä. Tilalle onkin tarjolla samaan GSM systeemiin perustuvia uudempia, tehokkaampia tekniikoita.

6.2 2G

2G on yleisnimitys toisen sukupolven tekniikalle, joka kehitettiin matkapuhelimia varten. 2G kuten GPRS perustuu Euroopassa myös GSM järjestelmälle. 2G:llä optimaalinen tiedonsiirtonopeus on alle 384kb/sekunnissa, mutta vasteajat ovat hiukan nopeampia, joten hyvin pitkälle 2G:n soveltuvat samat säännöt kuin GPRS yhteyksiin. Lähinnä kyseessä on verkon saatavuus ja miten sieltä löytyy ja saa tilaa. Mikä näistä vanhemmista tiedonsiirtotekniikoista tekee mielenkiintoisen vaihtoehdon, on niiden toiminta ja saatavuus. Nykyään tiedonsiirtotekniikkoja pyritään päivittämään varsin nopeassa, kiihtyvässä tahdissa, mutta esim. SMS viestit ovat jääneet ikään kuin muistona hitaammista ajoista. Seuraavan polven päivitetty tiedonsiirtojärjestelmät paransivat

huomattavasti radioyhteyden suorituskykyä. Asian voisi ilmaista, että mitä enemmän tulee mahdollisuuksia käyttää suurempia tiedonsiirtonopeuksia, niin UAV laitteen käyttöpotentiaali kasvaa, mutta aina ei ole tarve pitää yllä valokuitu yhteyttä, jos hitaampikin ja eritoten varmempi yhteys hoitaa homman yhtä hyvin, jos ei jopa paremmin

6.3 EDGE

EDGE eli Enhanced Data rates for GSM Evolution, suomeksi osapuilleen 'parannellut tietomäärät GSM järjestelmään' on GPRS:stä seuraavan polven tiedonsiirtojärjestelmä. Järjestelmä perustuu GPRS tekniikkaan, se on myös pakettikytkentäinen standardi, joka on hiukan päivittynyt versio perus GPRS tekniikasta. Se tunnetaan myös markkinointiterminä 2.5G, koska se on paranneltua toisen sukupolven, eli 2G tekniikkaa. EDGE tekniikka sijoittuu juuri 2G- ja 3G tekniikan väliin, eikä sitä lasketa vielä de facto kolmannen sukupolven tekniikaksi. EDGE tiedonsiirtotekniikalla päästään optimaalisesti 236,8/ sekunnissa, yhdellä päätelaitteella, mutta tiedonsiirtonopeuden päätelaitteelle neljää aikapaikkaa käytettäessä ja teoriassa 473,6 kb/s kahdeksalla aikapaikalla. Yksi aikapaikka on siis 59,2 kb/s.

Myös vasteajat paranivat. Käytännössä siirtonopeudet ovat noin 200kb/sekunnissa ja vastaanotto suunnassa 296kb/sekunti. Lähetysuunnassa vastaavasti saavutetaan keskimäärin 80-160 kb/s nopeudet, ja parhaimmillaan 236,8 kb/s nopeus. Tämä on keskimäärin kolmin tai nelinkertainen nopeus verrattuna olemassa oleviin GSM/GPRS-laitteisiin nähden. Mitä tulee EDGE verkkojen saatavuuteen, niin ensimmäisenä se otettiin käyttöön Yhdysvalloissa vuonna 2003 ja nykyään se on laajassa käytössä ympärimaailmaa, mutta kehittyneimmissä maissa, ja muutenkin ympäri maapalloa on vuodesta 2010 otettu käyttöön 3G verkko, jolla on pikku hiljaa korvattu olemassa olevat EDGE verkot. EDGE nopeudet kasvavat myös uuden Evolved EDGE:n seurauksena, jopa yhteen megabittiin sekunnissa, uuden tuotteen nimi on versio 7:n. Versio 7 parantaa nopeuden lisäksi latenssia, joka saadaan tiputettua 100 millisekuntiin.

Mikä EDGE:ssä viehättää UAV laitteisiin nähden on sen laaja saatavuus 3G verkon alla, eli GPRS, 2G ja EDGE voidaan määritellä ns. hitaisiin yhteyksiin, joiden käyttötarkoitus UAV laitteiden suhteen on loppujen lopuksi nykyaikana melko vähän. Käyttötarkoitukset sopivat pitkä ikäisiin autonomisiin UAV laitteisiin, joilla ei ole tarvetta kokoajan jakaa keräämänsä tietoa. Käyttökohteet ovat lähinnä pienien tietomäärien jakamista joko laitteen tietopankista tai tiedon jakamista UAV laitteen havainnoimista ympäristön muunnoksista. Käyttötarkoitukset ovat silti loppujen lopuksi hyvin rajattuja uudempien tekniikoiden johdosta, eikä niitä ole paljon tästä johtuen. Myös harrastajat ovat siirtyneet

ympär maailmaa 3G aikakauteen. Syyt tähän ovat aika selvät; 3G on jo niin nopea, että saat UAV laitteesta melko tarkkaa kuvaa parhaimmillaan, se on halpaa ja helposti saatavilla. GPRS:n aikakausi UAV laitteiden suhteen sijoittui vuosikymmenen puoliväliin, ja kiinnostusta vielä löytyy harrastajilta jonkin verran, mutta 3G on tosiaan vallannut alaa ja oikeastaan syystä: Se on jo varsin käyttökelpoinen tiedonsiirtojärjestelmä UAV laitteille.

6.4 UMTS

UMTS, joka on lyhenne sanoista Universal Mobile Telecommunications System, on GSM:stä seuraava versio, joka on suunniteltu 3G tekniikalle ja siitä toistaiseksi eteenpäin 4G tekniikalle. UMTS pohjautuu edelleen GSM verkolle. UMTS:n on kehittänyt 3GPP (3rd Generation Partnership Project), joka on useiden eri teleoperaattoreiden, valmistajien ja toimijoiden yhteistyö klusteri. UMTS on siis kansainvälisen yhteistyön ja toimijoiden luoma tiedonsiirtojärjestelmä, joka on nykyisin hyvin laajassa käytössä esimerkiksi Suomessa. Mikä tekee UMTS:sta hyödyllisen UAV laitteille on siinä toimiva 3G verkko. Perusdata liikkuu 384kb/sekunti, joka on nopeampi kuin aikaisemmissa tiedonsiirtojärjestelmissä. Nykyään UMTS verkkoa on myös päivitetty ja se tarjoaakin nopeampia yhteyksiä käyttäjilleen. UMTS käyttää hyödykseen Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) tekniikkaa, joka tarjoaa tehokkaamman kaistankäytön lisäksi suurempaa siirtonopeutta. UMTS tarjoaa myös radio access networkin (eli UTRAN = UMTS Terrestrial Radio Access Network). Tämä tekniikka on tärkeä osa UAV laitteilla joita hallitaan 3G verkolla, tämä tulee jo hyvin ilmi kun hakee tietoa esimerkiksi alan harrastajilta. RAN on varsinainen työväline laitteen ja ohjauksen välillä. UAV laitteissa on käyttäjän hallintaväline, joka toimii käyttöliittymänä RAN:lle, joka taasen ottaa yhteyden vastaanottimeen, sillä tekniikalla, mikä UA systeemiin on integroitu.

UMTS verkkoa on myös päivitetty ja se kykenee nykyisin suurempaan tiedonsiirtoon. Näille uusille tekniikoille on annettu päivitettyjä tunnusnumeroita, kuten 3.5G ja 3.75G. Mikä tulee ottaa huomioon UAV laitteita suunnittelussa, on se että tiedonsiirto hidastuu suuremmissa nopeuksissa, joten sillä on omat rajoituksensa. UMTS tekniikka myös antaa lyhyemmät vasteajat ja kutistaa ne lähes olemattomiin, mikä helpottaa UAV laitteen hallintaa ja UAV laitteen välittämä informaation saapuu nopeammin perille, vähemmän muuttuneena. Myös UMTS verkko ottaa kaistalta kuormitusta pois kun sitä ei käytetä. UMTS verkko tarjoaa tällä hetkellä, ehkäpä UAV laitteille parhaiten sopivan verkon, kunhan vain UAV laitteiden toiminta-alueella on verkko, eli niin sanotusti kuuluu kuuluvuusalueeseen. Mikä myös tekee UMTS verkosta hyvän kandidaatin UAV laitteille, on

sen tarjoama mahdollisuus piirikytkentäiseen tiedon siirtoon, eli Circuit Switched Data, CSD:n. CSD:ssä muodostetaan kiinteä yhteys tiedonsiirtokanavan kautta. Syntyy rengas, joihin kumpaakin päähän on määritetty vastaanottaja ja lähettäjä. UMTS kykenee luonnollisesti myös edellä mainittuun pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon ja näille kummallekin löytyy käyttöä UAV laitteen hallinnassa

6.5 3G, 4G ja Wi-Fi

3G viittaa kolmannen sukupolven matkapuhelintekniikkaan, joka on suurimmalta osin käytössä tällä hetkellä Suomessa ja monissa muissa maissa. 3G on kansainvälisen televiestintäliiton (ITU International Telecommunication Union) määrittämä standardi ja 3G:n pitää tietyt määreet saavuttaa, ennen kuin se täyttää 3G:n vaatimukset. ITU on määrittellyt 3G:lle muun muassa seuraavan ehdon; luotettavuus ja perus tiedonsiirtonopeus, joiden tulee olla vähintään 200kb/sekunti. 3G on jo monin tavoin varsin hyvä vaihtoehto UAV laitteen hallintaan. Siinä on edellisiin vaihtoehtoihin verrattuna jo käyttökelpoiset tiedonsiirtonopeudet, turvallisuus ja toimintavarmuus. Yhdysvalloissa on myös NTIA (National Telecommunications and Information Administration, Yhdysvaltain kansallinen televiestintäliitto) varannut alustavasti 1755Mhz-1850Mhz UAV laitteille seuraavan 10 vuoden aikana, ja taajuusalueen 1755Mhz-1780Mhz seuraavan viiden vuoden aikana. Tämä siis tarkoittaa lähinnä kaupalliseen ja yksityiskäyttöön tarkoitettuja koneita. Tämän lisäksi 1795Mhz olisi tarkoitus tyhjentää UA systeemeille kokonaan tyhjäksi seuraavan viiden vuoden aikana. Joten jatkoa ajatellen on UAV laitteiden kehitys jo lähes melko turvattu Pohjois-Amerikassa ja 3G on väline mitä harrastajat ovat käyttäneet jo paljon. Tästä on jo muutamia kaupallisia tuotteita, kuten esimerkiksi ranskalaisen yhtiön tuottama Parrot AR. Drone. Se on radio-ohjattava neljän roottorin varassa liikkuva laite. Neljän roottorin ansiosta sen lento on hyvin tasaista ja se pystyy kääntymään ja nousemaan pienessä tilassa. Parrot:a hallitaan esimerkiksi Applen käyttöliittymällä, käyttämällä jotain heidän tuotettaan kuten iPad tai Android käyttöjärjestelmällä. Laite on itsessään noin 30 senttimetriä pitkä ja se on yhteydessä hallintalaitteeseen Wi-Fi:n avulla ja siinä on kaksi kameraa, joita voidaan seurata hallintalaitteen näytöstä. Laitteeseen on myös sisäänrakennettu mallinnussofta, joka tunnistaa ympäristön kolmiulotteisia muotoja ja se kykenee havainnoimaan lentokorkeutta ultraäänen avulla ja pysymään tämän avulla ilmassa automaattisesti ilman jatkuvaa valvontaa. Parrot laite, joka siis täyttää MAV:n piirteet hyvin ja on teknisesti varsin toteuttavissa on jo myynnissä ja hintaa sille on kertynyt osapuilleen noin 325 euroa. Prosessorina siinä on ARM9, joka pyörii 468Mhz nopeudella ja muistina toimii RAM muisti 128 megabitin suuruisena. Käyttöjärjestelmänä laite käyttää Linuxia. Wi-Fi:n lisäksi laitteen saa kiinni USB paikasta ja käyttää suunnan muuttamiseen yhteensä kolmea gyro moottoria. Laita on rakennettu hiilikuidusta, joka on hyvin kestävä, mutta kevyttä. Tämä onkin hienostuneen hallintalaitteiston lisäksi, varmisti kallein yksittäinen raaka-

aine. Laite saa voimansa akuista, joista saa virtaa 11.1 voltin verran 15 watin roottoreihin. Laite painaa 380 grammaa ja pysyy ilmassa yhdellä latauksella noin 12 minuuttia saavuttaen maksimissa 18 km/h nopeuden. Kameroiden tuottama kuva on ainoastaan VGA tasoista 640x480 pikseliä, eli niillä ei vielä mitään erikoisen tarkkaa tietoa saa. Tämän laitteen kiinnostavuus on itse tuotteessa. Se on kaupalliseen tarkoitukseen tehty UAV laite, joka on vielä hintansa puolesta kohtuullinen. Toinen mielenkiintoinen asia on Wi-Fi mahdollisuuden ohjata näitä laitteita. Suuntaa antavilla antennilla voi paikallisen langattoman verkon kantaman saada jopa useisiin satoihin metreihin. WLAN:aa taas voi hallita 3G:llä mistä päin maailmaa tahansa, joten jos jatkamme näiden puitteiden huomiolla UA systeemin analysointia, tarjoaa WLAN yhdistettynä 3G varsin mielenkiintoisen vaihtoehdon UAV laitteen hallintaan.

Hyviä puolia on tekniikan saatavuus ja halpuus verrattuna järeämpiin, mutta kalliimpiin systeemeihin. Skenaarioita mietittäessä pitää ottaa huomioon liikkuvuus ja verkon toimivuus, eli käytännössä WLAN:n pohjautuvassa UA systeemissä itse UAV laitteet ja niiden kanssa kommunikoida WLAN verkko pitää kuljettaa paikan päälle. Urbanilla alueella tämä on varsin helppo kuvitella aivan realistiseksi skenaarioksi. Kantama vain kärsii alueella helposti, jossa on paljon rakennuksia, mutta esimerkiksi isomman kompleksin tulipalossa kyseinen laite olisi varmasti oiva apuväline alueen kartoittamisessa ja yleiskuvan luomisesta. Alueelle saapuvat viranomaiset laittaisivat laitteet ilmaan ja jatkaisivat muita pelastustoimenpiteitä. UAV laitteista kerätty tieto menisi esimerkiksi seudun johtavaan pelastustoiminta yksikölle, joka sitten välittäisi edelleen tiedon paikan päälle olevalle johtavalle viranomaiselle. Hän tekisi päätökset saatujen tietojen mukaan.

4G on neljännen sukupolven päivitetty versio 3G:stä, se perustuu LTE tekniikkaan (Long Term Evolution). Kyseinen tekniikka on päivitetty versio 3G tekniikasta ja ITU on sopinut esimerkiksi, että sen nopeus tulisi olla 1Gb/sekunti kun päätelaitteen liikkumisnopeus on hidas ja 100Mb/sekunnissa kun päätelaitteen vauhti on kova. Käytännössä kumminkin 4G:ksi kutsuttujen verkkojen nopeudet ovat paljon matalammat, arviolta 10-100 Mb/sekunnissa (latausnopeus) ja 5-20 Mb/sekunnissa (lähetyksenopeus). Nämä nopeudet riittävät jo kohtalaisen yksityiskohtaiseen kuvaan ja LTE tekniikkaa on arkkitehtuuriltaan erilainen kun sitä edeltäneet kolmannen sukupolven tiedonsiirtomenetelmät. LTE tekniikka on nimittäin ensimmäinen tekniikka, jossa käytetään erilaista tekniikkaa radioliikenteessä tukiasemasta päätelaitteeseen, kuin radioliikenne päätelaitteesta tukiasemaan. Tässä datan siirrossa tieto siirtyy MIMO (Multiple Input Multiple Output) tekniikalla useita eri radioteitä pitkin tukiasemasta päätelaitteeseen, joten tiedonsiirrolla on enemmän tilaa siirtyä ja data on ehjempää, kun se pääsee perille. MIMO tekniikasta tekee myös joustavan sen ominaisuus, jossa voidaan painottaa halutaanko tiedon siirtyvän nopeammin vai luotettavasti. Tämä on UAV laitteille hyvä ominaisuus, koska kun laite on

ikään kuin lepotilassa tai matkalla kohteeseen vaikka seuraamalla sille asetettuja GPS merkkejä, voidaan tilanteen mukaan panostaa vain kuvan tarkkuuteen. Vastapainoisesti taas kriisitilanteessa kuvan reaaliaikaisuudella on enemmän painoarvoa. MIMO antennit ovat käytössä useimmissa UAV laitteissa, jotka käsittelevät hiukan enemmän dataa. MIMO antennista saa vielä varsin kuljetuskelpoisen, koska se ei ole kauhean iso. MIMO:n avulla onkin saavutettu kokeissa ja hyvin käyttökelpoisia tiedonsiirtonopeuksia, jotka pitäisivät riittävä vaativaankin käyttöön kaupallisella puolella. Saavutetut nopeudet ovat tukiasemasta 100Mb/sekunti ja päätelaitteesta tukiasemaan 50Mb/sekunti. Etäisyydet ovat olleet noin 75 kilometrissä. Tämä on jo varsin riittävä etäisyys moneen UAV laitteen toimeen esimerkiksi kriisialueella.

7. GPS

GPS eli Global Positioning System on Yhdysvaltain puolustusministeriön sotilaallisiin tehtäviin luotu paikannusjärjestelmä. GPS paikannus mahdollisuus on hyvin tärkeä ominaisuus UAV laitteille joihin kadotetaan näköyhteys, koska sillä paikannetaan ja suunnataan laite ympäristöön nähden. GPS tekniikkaa käytetäänkin lähes kaikissa UAV laitteissa ja se on tärkeä ominaisuus UAV laitteen toiminnan kannalta. GPS:n historia ulottuu pitkälle 1950-luvulle ja nykyisin se on arkipäivää monille navigaattoreiden ja muiden laitteiden johdosta. Ensimmäinen paikantamiseen tarkoitettu satelliitti laukaistiin radalleen jo 1978 ja nykyiseen paikannusjärjestelmään, joka kattaa koko planeetan kuuluu 24 aktiivista satelliittia ja kuusi satelliittia on varalla. Satelliitit kiertävät 20200 metrin korkeudessa noin kahdesti vuorokaudessa maapallon. Vuosikustannukset Yhdysvaltain valtiolle näistä tämän järjestelmän ylläpidosta on yhden miljardin dollarin luokkaa.

Toimintaperiaate on UAV laitteiden kohdalla sama kuin muissakin GPS paikannusta käyttävissä laitteissa. Kun tiedetään satelliittien tarkka sijainti, mitataan eri satelliiteista tulevat signaalit aikaeroon nähden ja näin pystytään laskemaan vastaanottimen sijainti. Pienimmät markkinoilla olevat GPS vastaanottimet, jotka ovat myynnissä tavalliselle kuluttajalle painavat noin 20 grammaa. GPS:llä on ollut jo merkittävä rooli UAV laitteiden avulla useammassa Yhdysvaltojen käymässä sodassa. Ensiksi haravoidaan ympäristö UAV laitteella, nykyaikana vielä enemmän tunnistamisohjelmistolla. Kyseinen ohjelma tunnistaa sille asetettujen ennakoasetusten mukaan uhkia, kun se tutkii maastoa ja tunnistaa sieltä muotoja. Tämän jälkeen kohde merkataan infrapunasäteellä ja sille annetaan paikannuskoodit, nyt UAV laite voidaan jäädä seuraamaan vaikka panssarivaunun liikettä. Itse UAV laite on vielä suunniteltu sillä tavalla, että se lentää sen verran korkealla, ettei sitä kuule tai näe sen pienuudesta johtuen. Tämä tekniikka antaa

tietenkin taistelukentällä huomattavan edun tiedustelutietojen osalta. Hyvä esimerkki kyseisestä tekniikasta ja sen tehosta on ehkä kuuluisin nyt jo hiukan vanhentunut RQ-1 Predator, jota on kyllä myös päivitetty. Kyseessä on UAV laite sana varsinaisessa merkityksessä, mutta sen melko iso, eli kaupalliset ja siviilikäyttö tämän kokoiselle laitteelle ei ole mikään optimaalinen toiminta-alue. Pituutta sillä on 8,22 metriä, siipien kärkiväli on 14,8 metriä, korkeus on 2,1 metriä ja paino tyhjänä 512 kiloa. Hintaa laitteelle kertyy noin 40 miljoonaa euroa, eli ei ihan joka harrastajan väline. Henkilökuntaa käsittelemässä yhtä Predator yksikköä kohden on useita kymmeniä, mutta varsinaisen ohjaamisen hoitaa yksi ja sensoreiden tulkin kaksikin henkilöä. Tietoyhteytenä se käyttää satelliittia. Tämä on luonnollisesti suurimmalla osalla kaupallista ja siviilitoimintaa liian kallista.

Arkipäiväisempi esimerkki GPS:n käytöstä UA systeemeissä on EFR eli Emergency First Response UAV laitteet. Kyseessä on varsin liikuteltavat laitteet, joissa itse UAV lennokka painaa noin kaksi kiloa ja koko UA systeemi mahtuu isompaan laukkuun ja painaa noin 10-25 kiloa. Tällainen laite on esimerkiksi RV-02, joka on siviilikäyttöön tarkoitettu UAV. Se on lyhyen toimintasäteen ja matalan lentokorkeuden UAV, joka on suunniteltu kansallispuistojen valvontaan, metsäpalojen kartoittamiseen, ilmansaasteiden kartoittamiseen, meteorologiaan sekä esimerkiksi maataloudessa pölytykseen. Sitä voidaan myös käyttää elokuvien kuvauksissa. Kyseinen laite käyttää myös paikannuksessa GPS:ä.

8. Radioaallot

Radioaallot ovat kaupallisella puolella olennainen osa UA systeemiä. Radioaallot ovat sähkömagneettista säteilyä, joiden värähtelyalue on 3Hz-300GHz välillä. Ne ovat osa sähkömagneettista spektriä ja niitä käytetään esimerkiksi matkapuhelimissa ja tutkissa. Radioaallot etenevät tyhjiössä valonnopeudella ja väliaineesta riippuen niiden nopeus muuttuu, mutta ilmassa ne etenevät hyvää vauhtia. Radioaalto on sähköisen jännitteen purkautumista magneettikenttään, joka vuorostaan purkautuu sähköiseksi jännitteeksi ja näin syntynyt sähköinen jännite luo vastavuoroisuudella sähkömagneettisen kentän. Tämän kentän taajuutta voidaan muuttaa jännitteen määrää muuttamalla. Radioaallot ovat häiriölle mahdollisia ja tämä onkin yksi suurista haasteista, kun sovitaan Suomessa vapaasta taajuus alueesta UA systeemien käyttöön. Koko systeemin suunnittelussa pitää ottaa huomioon myös UAV laitteen alhainen prosessori teho ja rajattu muisti, tämä tavallaan ottaa painolastia pois laitteen tiedonsiirtojärjestelmän kuormituksesta. UAV laite helposti kasvaa liian isoksi ja suurimmassa osassa, mihin käyttöön UAV laitteita

suunnitella, laitteen koon pitää olla mahdollisimman pieni. Tämä on suunnittelun iso dilemma.

9. UA systeemin ongelmakohdat

Datalinkkiä suunniteltaessa pitää olla tarkka arkkitehtuuri järkevästi suunniteltu, jotta se kaista mitä on käytössä, saadaan tehokkaasti käyttöön. Erilaista dataa joka tulee tiedonsiirtojärjestelmän läpi monessa erilaisessa muodossa, sensoreista, komentoja laitteelle ja tietoja itse laitteesta kuten sijainti ja muuta vastaavaa. Tämän lisäksi data pitää pystyä jakamaan automaattisesti useaan eri kategoriaan esimerkiksi kiireellisyyden ja määrän perusteella. Yleisimmät ongelmat datalinkissä ovat viive, tukos tiedonsiirtokanavassa, yhteyshäiriöt ja epäsymmetrinen yhteys. GCS, eli Ground Control System:llä ongelmia ovat niiden yhdenmukaisuus. Ala on uusi ja tekijöitä useampia, joten yhtenäistä systeemiä ei ole. Ohjelmointikieliä on käytetty useita ja alustoja on useita Windowsista alkaen. Tämän johdosta GCS:n tulisi olla helposti muokattavissa niin raudan kuin softan osalta. Maa-aseman pitää myös olla kykeneväinen antamaan useita erityyppisiä tehtävänantoja UAV laitteelle, toivottavaahan olisi, että UA systeemeitä voisi käyttää ristiin UAV laitteiden kanssa tilanteen mukaan osaavien osapuolten toimesta. Mainittakoon, että esimerkiksi TCP eli Transmission Control Protocol ei toimi tyydyttävästi UA systeemin toimintaympäristössä. Se on liian epävakaa ja joustamaton.

Yksi ongelmista on kansallisten standardien puute, kuten esimerkiksi UAV laitteiden toimialueet ja niiden käyttämät taajuualueet. Näitä varten on jo useissa maissa perustettu työryhmiä ja paine näihin päätöksiin kasvaa kokoajan. Tähän mennessä on ainoastaan hahmotelmia ja suunnitelmia kansainvälisistä ja kansallisista säädöksistä kyseisen ilmailun kohdalla. UA systeemien kehittäminen ja integrointi on tosin jo Suomen ilmateollisuuden osalta. Jossain vaiheessa tulevaisuudessa UAV laite tippuu alas ja osuu johonkin aiheuttaen vahinkoa, tässä vaiheessa viimeistään aletaan selvittämään, kenelle vahingon hoitaminen kuuluu loppujen lopuksi kuuluu.

10. Yhteenveto

Kaiken kaikkiaan kyseessä on ala, joka pitkästä historiasta huolimattaan on vielä aika alussa. Nykyaikana, kehittyneemmän tekniikan ansiosta mitä on saatavilla, hintaan johon ihmisillä ja erityisesti yrityksillä on varaa, monessa yhteisössä ja projektissa mietitään UA systeemin potentiaalia. Kieltämättä potentiaalia onkin paljon kaupallisessa mielessä,

lähinnä kaikenlainen monitorointi ja valvonta sekä tarkkailu. Tämän lisäksi tiedonsiirto tulee varmasti olemaan tärkeässä osassa näiden laitteiden toimialaa. Datalinkissä onkin tällä hetkellä suurimmat ongelmat, varsinkin varmasti ja hyvin toimivan datalinkin integrointi koko UA systeemiin on haastava tehtävä, varsinkin jos saatavilla ei ole omaa satelliittia. Haettujen ratkaisujen pitää olla joustavia, yksinkertaisia ja toimivia, tähän auttaa maapisteen ja itse laitteen välillä oleva datan prosessointi tekniikka. Tämä välissä olevan datan prosessointi tekniikan pitää olla luonteeltaan erikoistunutta ja siihen tuleekin kiinnittää eniten huomiota, jotta saadaan joku päivä käytännöllisiä ratkaisuja. Tässä tapauksessa rahaa varmasti ohjautuu lisääntyvällä tahdilla tekniikan kehittämisen suuntaan.

UAV laitteen fyysinen rakenne menee kokoajan eteenpäin, tässä oivia esimerkkejä on muihin tarkoituksiin kehitetyt nanorakenteet, tämä tarkoittaa pienempiä ja kevyempiä rakenteita, mikä tarkoittaa vähentynyttä energiaa kulutusta ja pidempää lentoaikaa. Esimerkkejä haetaan aktiivisesti luonnosta ja nämä keksinnöt luonnollisesti valuvat tai jopa alkavat UAV alasta. Tästä on jo pari esimerkkiä.

Tiedonsiirtoon löytyy myös kokoajan kirjaimellisesti vauhtia lisää ja murros on oikeastaan tapahtunut siviilikäytössä 3G:n myötä.

Lähteet

Sähköiset lähteet:

John E. Bryson ja Lawrence E. Strickling 2012

http://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/ntia_1755_1850_mhz_report_march2012.pdf

Martin Byron 2011

<http://proddownloads.vertmarkets.com/download/899943c8/899943c8-2ebf-4651-b024-4c606b0a39af/original/vglcdla30rpd-2009.pdf?cid=f6cf9605-1b83-4a61-b948-489fa241c692>

Military Aerospace 2012

www.militaryaerospace.com/

Physical Optics Corporation 2012

www.poc.com

Geneva Aerospace 2011

<http://www.genaero.com/>

RF Globalnet 2012

<http://www.rfglobalnet.com/>

Rami Saarikorpi 2010

<http://www.uavdata.net/>

Civil UAV assessment Team 2006

http://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/175940main_Earth_Obs_UAV_Vol_2_v1.1_Final.pdf

Timothy H. Cox, Christopher J. Nagy, Mark A. Skoog ja Ivan A. Somers 2005

http://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/111761main_UAV_Capabilities_Assessment.pdf

Aerospace America

http://www.aerospaceamerica.org/Documents/March%202011%20AA%20PDFs/Aerospace%20America%20_MAR2011.pdf

Kirjalliset lähteet:

Naomi Kato ja Shinji Kamimura 2010. Bio-mechanisms of Swimming and Flying
Fluid Dynamics, Biomimetic Robots, and Sports Science
Tokio, Springer

Reg Austin 2010. Unmanned Air Systems: UAV Design, Development and Deployment
Wiltshire UK, Wiley

Richard K. Barnhart, Stephen B. Hottman, Douglas M. Marshall J.D. ja Eric Shappee 2012.
Introduction to Unmanned Aircraft Systems, Boca Raton FL, CRC Press