DRONEPARVIEN KYVYT JA TAVOITTEET

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

Victor Behm

Tarkastaja: DI Jesse Tolvanen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Victor Behm

Droneparvien kyvyt ja tavoitteet

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

27 sivua, 7 kuvaa, 0 taulukkoa ja 0 liitettä

Tarkastaja: DI Jesse Tolvanen.

Avainsanat: drone, drooni, droneparvi, parvi, UAV, UAS

Droneparvien luomat mahdollisuudet ovat herättäneet kiinnostusta monilla aloilla. Niin logistiikka, sodankäynti ja maatalouskin voisivat hyötyä droneparvien tuomista eduista.

Tässä kandidaatintyössä on tavoitteena luoda kokonaisuus, josta käy ilmi droneparvien kehityksen nykytilanne. Tämä toteutetaan tarkastelemalla dronetyyppejä, droneparven merkitystä, droneparven koordinaatiota, dronejen aiheuttamia huolenaiheita ja droneparven käyttötarkoituksia. Yhtä droneparven mahdollisista käyttötarkoituksista tarkastellaan huolellisemmin, jotta saadaan tarkempi ymmärrys parviteknologian kehitystilanteesta. Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena ja työssä hyödynnetään sekä tieteellisiä- että mediasta peräisin olevia lähteitä.

On selvää, että droneparvia pyritään kehittämään aktiivisesti. Monet droneja jo hyödyntävät alat ovat kiinnittäneet huomiota parvien tuomiin etuihin, mutta myös muilla aloilla on ehdotettu droneparvien hyödyntämistä. Kehitteillä olevista droneparvista suurin osa on osittain autonomisia. Täysin autonominen parvi on mahdollinen, mutta se vaatii vielä kehitystä, jotta sitä voidaan hyödyntää turvallisesti.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of energy systems

Electrical Engineering

Victor Behm

The capabilities and goals of drone swarms

Bachelor's thesis

2022

27 pages, 7 figures, 0 tables and 0 appendices

Examiner: M.Sc. (Tech.) Jesse Tolvanen

Keywords: drone swarm, drone, swarm, UAV, UAS

The new possibilities created by drone swarms are being recognized across many different fields of science and lines of business. Especially logistics, warfare and agriculture could benefit from swarming drones.

The objective of this bachelor's thesis is to merge results of previous research to find out the current state of drone swarms. This is achieved through literature review of drone swarm types, the significance of drone swarms, drone swarm coordination, concerns caused by drones and uses for drone swarms. One of the mentioned uses for drone swarms is taken into closer examination with the purpose of creating a more detailed description of the functionality of a drone swarm. The source material used consists of scientific articles and media articles.

Drone swarms are being developed actively. The advantages of drone swarms are already recognized in many fields where drones are already being used, but utilization of drone swarms has been proposed in other fields as well. Most current drone swarms are semi-autonomous as fully autonomous drone swarms still require further development before they can be utilized in a safe manner.

LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

UAV	miehittämätön ilma-alus (Unmanned Aerial Vehicle)
UAS	miehittämätön ilmajärjestelmä (Unmanned Aerial System)
VTOL	pystysuora nousu ja lasku (Vertical Take-Off and Landing)
NDVI	normalisoitu kasvillisuusindeksi (Normalized Difference Vegetation Index)
FANET	lentävä ad hoc -verkko (Flying Ad Hoc Network)
IMU	inertia-anturi (Inertial Measurement Unit)
UWB	laajan taajuuskaistan radioteknologia (Ultra-Wideband)
EKF	laajennettu kalmanin suodatin (Extended Kalman Filter)
PSO	Partikkeliparvioptimointi (Particle Swarm Optimization)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

1 Johdanto 4
2 Mikä on drone 5
2.1 Yksiroottorinen drone 5
2.2 Moniroottorinen drone 6
2.3 Kiinteäsiipinen drone 6
2.4 Hybrididrone 7
3 Mitä tarkoitetaan parvella 8
3.1 Osittain autonominen parvi 8
3.1.1 Osittain autonomisen parven kommunikaatio 8
3.2 Täysin autonominen parvi 9
3.2.1 Täysin autonomisen parven kommunikaatio 9
3.3 FANET 10
4 Droneparvien käyttötarkoitukset 11
4.1 Viihde 11
4.2 Logistiikka 11
4.3 Valvonta ja tiedustelu 12
4.4 Hyökkäys ja puolustus 12
4.5 Ympäristön valvonta ja hätäpelastus 13
4.6 Sniffy Bug 13
4.6.1 Laitteisto 14
4.6.2 Algoritmi 14
4.6.3 Käytännön testit 15
4.6.4 Tulokset 16
5 Huolenaiheet 17
5.1 Säännökset 17
5.2 Dronejen torjunta 17

6 Johtopäätökset 19
Lähteet 20

Kuvaluettelo

Kuva 1: Yksiroottorinen PDH-GS120 –drone

Kuva 2: Moniroottorinen M600WP –drone

Kuva 3: Kiinteäsiipinen Eclipse 2.0 -drone

Kuva 4: SkyEye Sierra VTOL -hybrididrone

Kuva 5: Parven koordinaatiomallit 1

Kuva 6: Parven koordinaatiomallit 2

Kuva 7: Bug-algoritmin käyttämät tilat

1 Johdanto

Miehittämättömistä ilma-aluksista koostuvat droneparvet ovat olleet puheenaiheena jo pitkän aikaa niin mediassa, kuin myös tieteellisissä tutkimuksissa. Droneparvia on käytetty esimerkiksi näyttävien valoesityksien luomiseen, mutta ennen kaikkea sodankäynti on aiheuttanut suuria kehitysaskelia parviteknologiassa. Parviteknologia tulee olemaan tärkeä osa sodankäyntiä ja sen hyödyntämisellä voi olla suuri vaikutus taistelun lopputulokseen (Williams, S.M., 2018). Parven alusten ja niiden välisen kommunikaation kehityksen myötä voidaan kasvattaa alusten määrää, kantamaa ja toimintatehokkuutta. Tässä työssä luodaan kuva droneparvien tilanteesta tällä hetkellä ja tulevaisuudessa. Tämä tehdään siten, että tarkastellaan käytössä olevia sekä kehitteillä olevia droneparvia.

Aikaisemmat tutkimukset keskittyvät usein johonkin tiettyyn parviteknologian aihealueeseen. Työn tavoitteena on koota yhteen eri aihealueiden tutkimusten tuloksia. Lähteinä käytetään pääosin tuoretta tieteellistä aineistoa. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen kautta luodaan selkeä kokonaisuus, jonka perusteella droneparvien tilanne nykyaikana käy selväksi. Työssä selvitetään vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitä tarkoitetaan droneparvella?
2. Mihin droneparvia käytetään?
3. Mitä droneparvilla pyritään saavuttamaan?

2 Mikä on drone

Nimitystä drone tai drooni käytetään usein, kun puhutaan miehittämättömistä ilma-aluksista. Sanaa voidaan käyttää myös puhuttaessa miehittämättömistä vedenalaisista aluksista, mutta tämän työn tarkastelun kohteena ovat juuri miehittämättömät ilma-alukset eli UAV:t.

Tavalliselle kuluttajalle sanasta drone saattaisi tulla mieleen suuren suosion saavuttaneet pienet neljäroottoriset kopterit, kuten esimerkiksi kameralla varustettu DJI Mavic 3 (DJI, s.a.). Droneja on kuitenkin monenlaisia ja eri droneilla on omat käyttötarkoituksensa, joiden perusteella niiden kyvyille asetetaan vaatimuksia. Droneja voidaan luokitella esimerkiksi koon, kantaman ja kestävyyden mukaan (The Pennsylvania State University, s.a.). Droneja voidaan myös luokitella esimerkiksi roottorien määrän, siipien tyylin tai käyttötarkoituksen mukaan (Aero Corner, s.a.). CircuitsToday jakaa dronet neljään luokkaan: yksiroottoriset, moniroottoriset, kiinteäsiipiset sekä hybridit (CircuitsToday, 2017). Dronejen käyttötarkoituksia tarkastellaan parviteknologian näkökulmasta luvussa 4.

2.1 Yksiroottorinen drone

Yksiroottorinen drone muistuttaa helikopteria. Siinä on yksi pääroottori ja yksi pyrstöroottori. Pääroottori tuottaa nostovoimaa ja pyrstöroottori kompensoi pääroottorin aiheuttamaa kiertopyrkimystä. (Droneinfo, 2022) Yksiroottorisen dronen pääominaisuudet ovat VTOL-kyky, leijuntakyky ja muihin dronetyyppeihin verrattuna pitkä lentoaika (Tahir et al. 2019). Esimerkki yksiroottorisesta dronesta on esitetty kuvassa 1.

Kuva 1 Yksiroottorinen PDH-GS120 –drone. (Prodrone.com)

2.2 Moniroottorinen drone

Moniroottorisessa dronessa on nimensä mukaisesti enemmän kuin yksi roottori. Yleisin roottorimäärä on neljä. (Droneinfo, 2022) Moniroottorisien dronejen valmistaminen on helppoa ja edullista, mutta niillä on myös huonoja puolia. Moniroottoriset dronet ovat yleisesti hitaita ja muihin dronetyyppeihin verrattuna niillä on lyhyt lentoaika. Niiden pääominaisuudet ovat VTOL-kyky ja leijuntakyky. (Tahir et al. 2019) Esimerkki moniroottorisesta dronesta on esitetty kuvassa 2.

Kuva 2 Moniroottorinen M600WP –drone. (Embention.com)

2.3 Kiinteäsiipinen drone

Kiinteäsiipisen dronen toiminta perustuu siiven tuottamaan nostovoimaan. Se ei siis tarvitsee jatkuvasti energiaa pysyäkseen ilmassa. Moottorisoitu kiinteäsiipinen drone voi pysyä ilmassa pidempään muihin dronetyyppeihin verrattuna. (CircuitsToday, 2017) Kiinteäsiipisen dronen pääominaisuudet ovat pitkä lentoaika ja suuri lentonopeus (Tahir et al. 2019). Esimerkki kiinteäsiipisestä dronesta on esitetty kuvassa 3.

Kuva 3 Kiinteäsiipinen Eclipse 2.0 -drone. (Robota.us)

2.4 Hybrididrone

Hybrididrone on kiinteäsiipinen drone, jolla on myös VTOL- ja leijuntamahdollisuus. Siinä voi olla omat roottorit leijuntaa varten tai esimerkiksi kääntyvät roottorit. (Embention, 2021) Hybrididronen pääominaisuudet ovat VTOL-kyky ja pitkä lentoaika (Tahir et al. 2019). Esimerkki hybrididronesta on esitetty kuvassa 4.

Kuva 4 SkyEye Sierra VTOL -hybrididrone. (Elevonx.com)

3 Mitä tarkoitetaan parvella

Tutkimuksen kannalta on tärkeää tarkastella sanan *parvi* merkitystä. Tässä tutkimuksessa sanalla parvi tarkoitetaan useasta jäsenestä koostuvaa joukkoa. Parvet voidaan jakaa parvityyppeihin esimerkiksi kommunikaatiotapojen perusteella. Parvia jaettaessa tyyppeihin voidaan ottaa huomioon parven ulospäin suuntautuva kommunikaatio ja parven sisäinen kommunikaatio. Ulospäin suuntautuvaa kommunikaatiota tarkasteltaessa parven lento voi olla manuaalisesti tai automaattisesti ohjattu (Tahir et al. 2019). Parven autonomia onkin tärkeä kehityksen kohde droneparvissa (Campion et al. 2019).

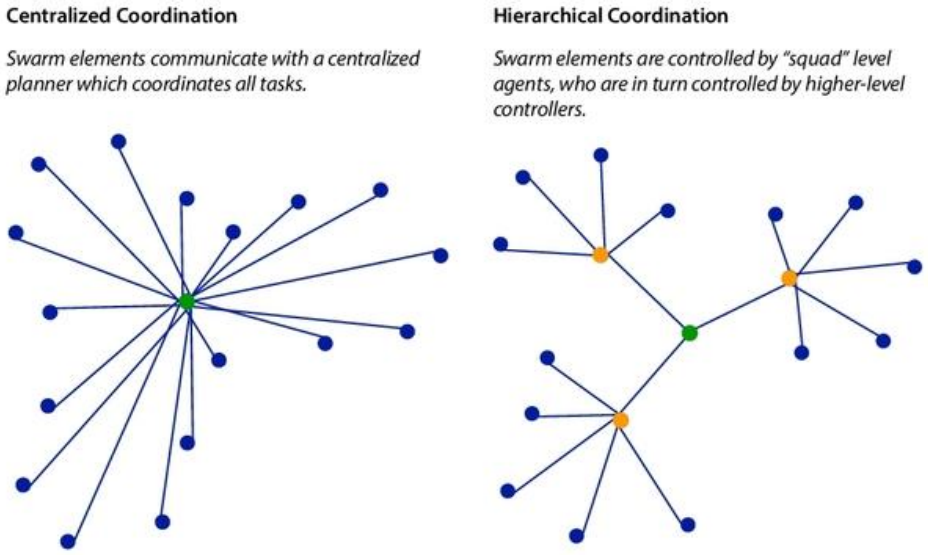
3.1 Osittain autonominen parvi

Osittain autonomisen parven toiminta perustuu kommunikaatioon komentokeskuksen ja parven välillä. Suurin osa tehtävän suorittamisen aikana vaaditusta prosessoinnista tapahtuu juuri komentokeskuksessa. Tällöin yksittäiseltä dronelta vaaditaan vähemmän prosessointitehoa. (Tahir et al. 2019) Etenkin kantama voi rajoittua osittain autonomista parvea käytettäessä, sillä komentokeskuksen täytyy olla tarpeeksi lähellä, jotta voidaan luoda tarpeeksi vankka kommunikaatioyhteys.

3.1.1 Osittain autonomisen parven kommunikaatio

Osittain autonomisen parven kommunikaatio voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että komentokeskus lähettää komennot jokaiselle parven jäsenelle erikseen. Tällöin parven jäsenet eivät kommunikoi lainkaan keskenään. Tämänkaltainen keskitetty koordinaatiomalli on esitetty kuvassa 5 vasemmalla.

Parvessa voi vaihtoehtoisesti olla johtajajäseniä, jotka lähettävät komentokeskukselta tulleita komentoja muille jäsenille. Tämänkaltainen hierarkkinen koordinaatiomalli on esitetty kuvassa 5 oikealla. Parvi voi olla myös monikerroksinen, jolloin parven johtajajäsen lähettää komennot toisen parven johtajajäsenelle, joka taas lähettää komennot oman parvensa muille jäsenille (Khan et al. 2017).



Kuva 5 Parven koordinaatiomallit 1. Vasemmalla keskitetty koordinaatiomalli ja oikealla hierarkkinen koordinaatiomalli. (Scharre, 2014)

3.2 Täysin autonominen parvi

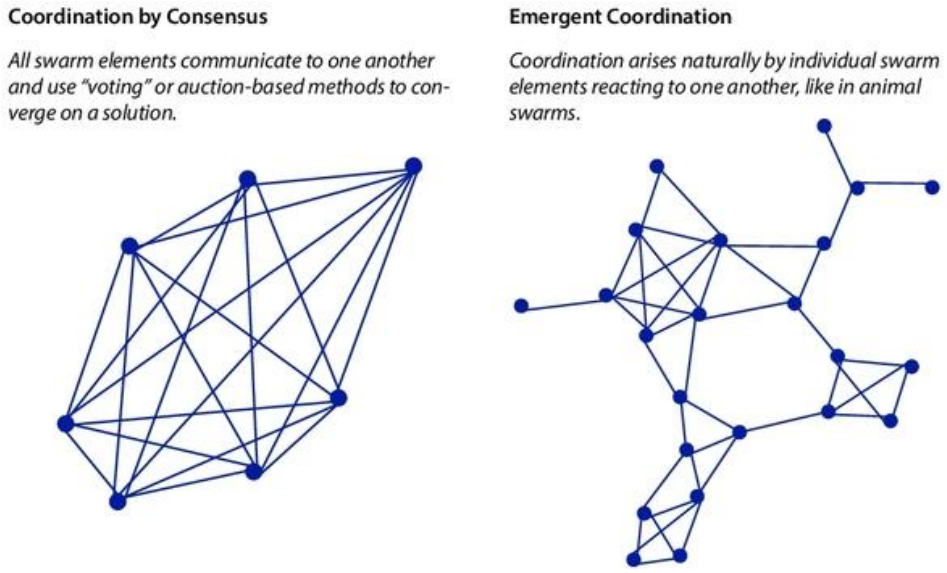
Täysin autonominen parvi suorittaa sille syötetyn tehtävän käyttäen tekoälyä ja algoritmeja. Autonomialla siis pyritään siihen, että parvi ei tarvitse uusia komentoja tehtävän aloittamisen jälkeen. Tällöin ei myöskään tarvittaisi jatkuvaa kommunikaatioyhteyttä parven ja komentokeskuksen välillä, mikä helpottaisi toimintaa etenkin pitkän kantaman tehtävissä.

3.2.1 Täysin autonomisen parven kommunikaatio

Täysin autonominen parvi voitaisiin toteuttaa esimerkiksi siten, että parven jäsenet kommunikoivat jokaisen muun jäsenen kanssa muodostaakseen ratkaisun tehtävän suorittamiseen. Tämänkaltainen yhteisymmärrykseen perustuva koordinaatiomalli on esitetty kuvassa 6 vasemmalla.

Vaihtoehtoisesti parvi voi muodostaa koordinaatiota yksittäisten jäsenten välisen kommunikaation pohjalta. Tällöin informaatio kulkee jäseneltä jäsenelle, eikä jokaisen jäsenen tarvitse välttämättä olla suorassa yhteydessä toisiinsa. Tämänkaltainen muotoutuva

koordinaatiomalli on esitetty kuvassa 6 oikealla. Muotoutuvan koordinaation etuna on se, että parven jäsenien lukumäärä on helpommin muutettavissa. (Khan et al. 2017)



Kuva 6 Parven koordinaatiomallit 2. Vasemmalla yhteisymmärrykseen perustuva koordinaatiomalli ja oikealla muotoutuva koordinaatiomalli. (Scharre, 2014)

3.3 FANET

FANET eli lentävä ad hoc -verkko on termi, jota käytetään usein droneparvien kommunikaatiosta puhuttaessa. FANET –verkossa tiedon välitys tapahtuu dronejen välille muodostuvan verkon kautta sen sijaan, että dronejen välinen kommunikaatio kulkisi tukiaseman kautta. (Khan et al. 2017) FANET –verkon etuna on se, että parven toiminta ei riipu olemassa olevasta infrastruktuurista. Tällöin parven kommunikaatio voi muodostua ja jatkaa toimintaa hankalissakin olosuhteissa, joissa osa droneista saattaa olla tukiaseman kantaman ulkopuolella. (Bekmezci et al. 2013)

4 Droneparvien käyttötarkoitukset

Droneparvilla on monia käyttötarkoituksia nyt ja tulevaisuudessa. Yksittäisiä droneja käytetään jo monissa tehtävissä, mutta parviteknologian hyödyntäminen voisi tuoda innovaatiota dronemarkkinoille.

4.1 Viihde

Hyvin tunnettu käyttötarkoitus on viihde, etenkin valoilla varustetuista koptereista koostuvista parvista muodostetut valoesitykset. Valoesityksissä kopterit asettuvat taivaalle muodostamaan kolmiulotteisia kuvia. Kehityksen myötä koptereiden määrä on noussut jo tuhansiin. Tällä hetkellä maailmanennätys koptereiden lukumäärälle on yli 3000 (Guinness World Records, 2021).

4.2 Logistiikka

Droneparvia voidaan hyödyntää logistiikassa. Yksittäinen parven jäsen voi kantaa omaa kuormaa tai sitten jäsenet voivat muodostaa ryhmiä, jotka voivat kantaa yhtä suurempaa kuormaa. Useamman jäsenen suorittamassa kuljetuksessa etenkin kommunikaatio on hyvin tärkeää. Jokaisen jäsenen on tiedettävä paikkansa kuljetuksessa ja jäsenten on toimittava yhteistyössä toisiinsa reagoiden. (Abdelkader et al., 2021)

Dronekuljetuksiin erikoistunut yhtiö Wing on jo suorittanut yhden dronen kuljetuksia Yhdysvalloissa, Australiassa sekä Suomessa. Kuljetuksia suorittaviin droneihin ei tarvita suoraa näköyhteyttä, mutta niiden toimintaa ja säätilaa tarkkaillaan jatkuvasti. (Lentoposti, 2021)

Toinen esimerkki dronelogistiikasta on yhdysvaltalaisen Kaman Corporationin kehittämä KARGO UAV. KARGO UAV on sotilaskäyttöön suunniteltu neliroottorinen kuljetusdrone, jolla voidaan automaattisesti ja turvallisesti toimittaa tarvikkeita esimerkiksi hankalassa maastossa sijaitsevaan sotilastukikohtaan. Kaman Corporationin mukaan se kykenee

kuljettamaan 800 paunan verran hyötykuormaa ja sen pisin mahdollinen yhden suunnan lentomatka on arvioitu olevan yli 500 merimailia. (Kaman Corporation, 2021) KARGO UAV voisi tulevaisuudessa hyödyntää useamman jäsenen kuljetuksia hyötykuorman lisäämiseen.

4.3 Valvonta ja tiedustelu

Valtionrajoja partioivia droneja on jo hyödynnetty etenkin Yhdysvalloissa. Merkittävä rajavalvontaan käytetty drone on Yhdysvaltojen rajavartioston Predator B, jota on hyödynnetty muun muassa salakuljetettujen huumausaineiden takavarikointiin. (CBP Predator B, 2021) Kehityksen myötä myös pienikokoisempia droneja on alettu hyödyntämään rajavalvonnassa. Pienikokoisten dronejen etuna on etenkin nopea käyttöönottoaika. Yksittäisillä droneilla on myös kyky partioida ennalta määriteltyä aluetta, sekä kyky seurata liikkuvia kohteita automaattisesti. (CBP, s.a) Suuria alueita voitaisiin valvoa hyvinkin tarkasti yhdistämällä pienikokoiset dronet sekä parviteknologia. Yksittäisen dronen rajallisen näkökentän vuoksi useasta dronesta muodostuva verkko on huomattavasti tehokkaampi ratkaisu valvontakäytössä. (Bandarupalli et al. 2021)

Droneparvien kykyjä pyritään myös hyödyntämään tiedustelussa. Vaarallisilla sekä hankalakulkuisilla alueilla on turvallisempaa korvata ihminen dronella. Dronen tuoma etu tiedustelussa on juuri turvallinen kaukotiedustelu. (Awasthi et al., 2020) Useasta dronesta muodostuva parvi voi tehdä hyvin tarkkaa ja laajaa tiedustelua korkealla onnistumistodennäköisyydellä. Suuri tehtävän onnistumistodennäköisyys johtuu siitä, että yhden dronen menettäminen ei keskeytä muiden dronejen toimintaa. (Wang et al., 2021)

4.4 Hyökkäys ja puolustus

Yhdysvaltalaisen Raytheon Technologiesin kehittämä Coyote UAS on putkesta laukaistava drone, joka kykenee valvontaan, elektroniseen sodankäyntiin ja hyökkäämiseen. Coyote UAS kykenee myös parveilemaan. (Raytheon Technologies, s.a.) Yhdysvaltojen maavoimien hyödyntämä Coyote UAS kykenee tuhoamaan uhkaksi todettuja droneja (The Defence Post, 2022). Muita droneja tuhoavaa droneparvea voitaisiin hyödyntää sekä puolustuksessa, että hyökkäyksessä.

Teknologiaan ja puolustukseen erikoistuva EDGE esitteli tekoälyyn perustuvan droneparven miehittämättömiin järjestelmiin keskittyvässä UMEX 2022 -tapahtumassa. Parvi perustuu EDGE:n tytäryhtiön HALCON:in Hunter 2 droneihin. (HALCON, 2022) Hunter 2-S dronet soveltuvat tiedusteluun sekä hyökkäykseen. Hunter 2-S drone kykenee kuljettamaan räjähteitä ja se hyökkää ohjuksen tavoin. (HALCON Hunter 2-S, s.a)

4.5 Ympäristön valvonta ja hätäpelastus

Campionin mukaan (Campion et al. 2018) parvea voidaan hyödyntää normalisoidun kasvillisuusindeksin eli NDVI:n havainnointiin. NDVI kuvaa tietyn alueen vihreän kasvillisuuden määrää ja sitä voi käyttää esimerkiksi maatilan viljelmien kasvuvaiheiden seurantaan. Parvi voi nopeasti ja tarkasti kartoittaa suurenkin maatilan viljelmien tilanteen.

Tahirin mukaan (Tahir et al. 2019) voi käyttää vaarallisen alueen tarkasteluun dronella. Dronen keräämän datan avulla voidaan tarkemmin arvioida tarvittavia resursseja. Jopa drone itsessään voi toimittaa ensiaputarvikkeita niitä tarvitseville.

4.6 Sniffy Bug

Tässä osiossa tarkastellaan esimerkkiä droneparven hyödyntämisestä kaasuvuodon paikantamiseen rakennuksen sisällä. TU Delft -yliopistossa alkunsa saaneen parven toiminta perustuu algoritmiin, jolle on annettu nimi Sniffy Bug. (TU Delft, 2021) Parven etsintä alkaa hajaantumisesta, eli parven jäsenet lähtevät eri suuntiin esteitä väistellen. Jokainen parven jäsen etsii kaasun lähdettä tarkkailemalla kaasun konsentraatiota ilmassa. Parven jäsenet lähettävät viestin muille jäsenille, kun kaasun konsentraatio kasvaa. Jaetun sijainti- ja konsentraatiodatan avulla parven jäsenet voivat tehdä yhteistyötä konsentraation maksimin eli kaasulähteen paikantamiseen. (Duisterhof et al., 2021)

4.6.1 Laitteisto

Parvi koostuu neljäroottorisista CrazyFlie nanokoptereista. TU Delftin tutkijat valitsivat CrazyFlien koska se on turvallinen, ketterä ja halpa. Se pystyy toimimaan ahtaissakin tiloissa ja pienen painonsa vuoksi se ei aiheuta välitöntä vaaraa muille tilassa olijoille. Dronen pieni koko tuo mukanaan myös rajoitteita. CrazyFlie kykenee kuljettamaan vain 15 grammaa hyötykuormaa (Giernacki ,2017), joten tutkijat joutuivat toteuttamaan parven toiminnan melko yksinkertaisilla, kevyillä ja pienitehoisilla antureilla.

Dronen liike ja asento tilassa määritetään käyttäen IMU-anturia ja optista liiketunnistinta. IMU-anturi eli Inertial Measurement Unit lukee dronen voimat, kulmanopeuden ja asennon avaruudessa. Optinen liiketunnistin tarkkailee etäisyyttä maasta ja maan liikettä. Esteiden välttämiseen drone hyödyntää neljää laser-anturia, jotka mittaavat etäisyyden ympärillä oleviin esineisiin. Kaasun mittaukseen käytetään anturia, jonka resistanssi muuttuu kaasun konsentraation muuttuessa.

Parven jäsenten välinen kommunikaatio on toteutettu UWB-lähetin-vastaanottimella. UWB-moduuli kommunikoi muiden dronejen kanssa jakaen EKF-suotimen eli laajennetun Kalmanin suotimen estimoimia sijainti- ja liiketietoja. (Li et al. 2021) TU Delftin tutkijat suunnittelivat parven toiminnan täysin autonomiseksi, joten se ei voi käyttää ulkoista prosessointitehoa toimiakseen. Rajallisten resurssien vuoksi on tärkeää, että Sniffy Bug –algoritmin toiminta on hyvin tehokasta.

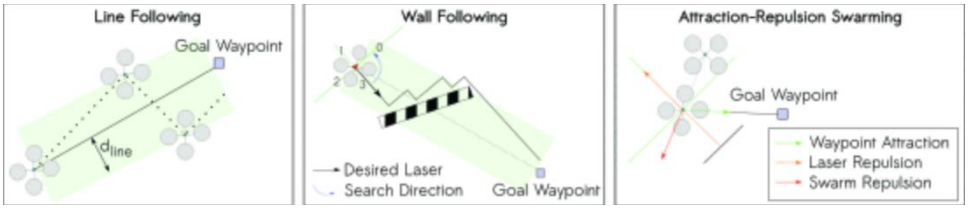
4.6.2 Algoritmi

TU Delftin Sniffy Bug –algoritmi koostuu PSO:sta, eli partikkeliparvioptimoinnista sekä niin sanotusta bug-algoritmista. Täysin autonomisen toiminnan luomiseksi dronet merkitsevät lähtöpisteensä muistiin tehtävän alussa. Lähtöpiste tarvitaan vertailuarvoksi, jotta kuljettu reitti voidaan kartoittaa. Tämän jälkeen hyödynnetään PSO:ta seuraavan välietapin valitsemiseen. Bug-algoritmi on vastuussa välietappiin siirtymisestä.

PSO:n toiminta perustuu siihen, että jäsenet kommunikoivat keskenään jakaen informaatiota löytämistään ratkaisuista. Tällöin parven jäsenet voivat kokoontua parhaan mahdollisen

ratkaisun luokse. (Jatmiko et al., 2007) Tässä tapauksessa parven etsimä paras ratkaisu on korkein kaasun konsentraatio.

Bug-algoritmi toteuttaa välietappiin siirtymisen käyttäen kolmea eri dronen tilaa. Nämä tilat on esitetty kuvassa 7. Ensimmäinen tila toteutuu, kun dronella ei ole esteitä. Tällöin drone etenee suoran suuntaisesti seuraavaan välietappiin. Siirtymisen aikana drone pysyttelee muuttujan d_{line} määrittelemällä etäisyydellä suorasta. Toinen tila toteutuu, kun drone kohtaa esteen. Tällöin drone seuraa seinämää, kunnes se vastaanottaa uuden välietapin, on välttänyt esteen tai kohtaa toisen dronen. Toisen dronen kohdatessaan se siirtyy kolmanteen tilaan ja muissa tapauksissa se palaa ensimmäiseen tilaan. Kolmas tila toteutuu siis dronen kohdatessa toisen dronen etäisyydellä d_{swarm}. Tällöin drone pyrkii kulkemaan välietappia kohti samalla vältellen esteitä ja muita droneja. Drone siirtyy takaisin ensimmäiseen tilaan, kun muuttujan d_{swarm} etäisyydellä ei havaita muita droneja.



Kuva 7 Bug-algoritmin käyttämät tilat

Algoritmin toiminta riippuu sille syötetyistä parametreista. Simuloimalla parven suorituskykyä erilaisissa ympäristöissä on mahdollista kouluttaa algoritmia luomalla sille uudet tehokkaammat parametrit simulaatiotulosten pohjalta.

4.6.3 Käytännön testit

Droneparven toimintaa testattiin rakenteeltaan erilaisissa huoneissa, joihin oli asetettu kaasulähde. Eri huoneet testaavat parven kykyä tutkia ympäristöä, seurata seinää ja väistellä esteitä. Testien tavoitteena oli kerätä tietoa droneparven suorituskyvystä. Testit suoritettiin käyttäen alkuperäisiä parametreja sekä simulaatiotulosten pohjalta luotuja parametreja.

4.6.4 Tulokset

Testiympäristöissä parvi kykeni löytämään kaasun lähteen onnistuneesti. Kuitenkin tuloksista huomataan, että simulaatiotulosten pohjalta luotuja parametrejä käyttämällä parven suorituskyky kasvoi. Alkuperäisillä parametreilla parven droneilla oli suurempi todennäköisyys törmätä esteisiin. Uusia parametrejä käyttämällä dronet olivat varovaisempia esteiden lähettyvillä, mutta uusien parametrien minimietäisyys oli hieman liian pieni. Tämä aiheutti suuremman todennäköisyyden dronejen väliseen törmäykseen. Tutkimuksen pohjalta voidaan sanoa, että täysin autonominen parvi on mahdollista toteuttaa.

5 Huolenaiheet

Dronejen ja droneparvien kehitys on tuonut esiin myös huolenaiheita. Dronet ovat luoneet uusia turvallisuuteen ja yksityisyyteen liittyviä riskejä (Wang et al., 2021).

5.1 Säännökset

International Committee for Robot Arms Control (ICRAC) on ottanut vahvasti kantaa automaattisiin miehittämättömiin aseisiin. ICRAC pyrkii luomaan asevalvontaa, joka estää aseistettujen automaattisten järjestelmien kehittämistä ja käyttöä. ICRAC:in mukaan koneella ei pitäisi olla valtaa päättää ihmisen tappamisesta. (ICRAC, s.a)

Myös EU:n lentoturvallisuusvirasto EASA on tiedostanut dronejen ja droneparvien aiheuttamat riskit luomalla säännöksiä. EASA:n säännöksen (2019/947 s.17) mukaan miehittämättömän ilma-aluksen lennättäjän on rekisteröidyttävä, mikäli ilma-aluksessa on anturi, joka kykenee tallentamaan henkilökohtaisia tietoja. Saman säännöksen (2019/947 s.17) mukaan myös yli 250 gramman lentoonlähtöpainon omaavaa miehittämätöntä ilma-alusta lennättävän henkilön on rekisteröidyttävä. Tämä säännös pohjautuu tutkimuksien tuloksiin, joiden mukaan edellä mainitut miehittämättömät ilma-alukset luovat turvallisuusriskejä. EASA:n säännöksessä on myös maininta miehittämättömien ilmajärjestelmien autonomiasta. Säännöksen (2019/947 s.206) mukaan autonomian käsite on vielä käsiteltävänä ja sen osalta ei olla vielä päädytty yhteisymmärrykseen. Säännöksen mukaan kuitenkin edellytetään, että autonomisenkin toiminnan yhteydessä tehdään riskien arviointi. (EASA, 2021)

5.2 Dronejen torjunta

Dronejen tiedustelu- ja hyökkäyskyvyt sekä helppo saatavuus ovat luoneet tarpeen droneja torjuville järjestelmille (Beaudoin et al. 2011). Suomalainen Sensofusion on kehittänyt Airfence -järjestelmän, joka havaitsee kaupallisesti saatavilla olevia droneja jopa 10 km säteellä.

Se kykenee paikantamaan dronen ja sen lennättäjän sijainnin sekä muita dronen tietoja. (Sensofusion, s.a)

Yhdysvaltalainen Lockheed Martin on kehittänyt MORFIUS-dronentorjuntajärjestelmän, joka muistuttaa toiminnaltaan luvussa 4.4 mainittua Coyote UAS järjestelmää. Se on putkilaukaistava ja se torjuu droneja lennossa. MORFIUS-järjestelmän torjuntamekanismin toiminta perustuu mikroaaltoihin. Se lentää tarpeeksi lähelle dronea tai droneparvea ja päihittää iskukantaman sisällä olevat dronet yhdellä iskulla. (Lockheed Martin, 2021)

6 Johtopäätökset

Parviteknologian jatkuva kehitys on tuonut mukanaan suuren määrän uusia ideoita eri alojen toiminnan kehittämiseen. Tämä johtuu siitä, että monessa tapauksessa on kannattavampaa hyödyntää useasta yksinkertaisemmasta dronesta muodostuvaa parvea sen sijaan, että kehitetään drone, joka kykenee suorittamaan tehtävän yksin. Kuitenkin droneparvien osalta kehitys on monilla aloilla vielä suunnittelu- ja prototyyppivaiheissa ja parvet ovat pääosin osittain autonomisia. Parven täydellinen autonomia on mahdollista, mutta se vaatii vielä kehitystä, jotta sitä voidaan hyödyntää useimmilla aloilla. Dronejen ja droneparvien autonomian lisääminen on aiheuttanut myös huolenaiheita. Etenkin yksityisyys, turvallisuus sekä aseistetut dronet ovat huolestuttaneet ihmisiä.

Lähteet

Williams, S.M., 2018. Swarm Weapons: Demonstrating a Swarm Intelligent Algorithm for Parallel Attack. US Army School for Advanced Military Studies Fort Leavenworth United States. Viitattu 28.01.2022 https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1071535

DJI, s.a. DJI Mavic 3 - Imaging Above Everything. Viitattu 28.04.2022 https://www.dji.com/fi/mavic-3

The Pennsylvania State University, s.a. Classification of the Unmanned Aerial Systems | GEOG 892: Unmanned Aerial Systems. Viitattu 27.04.2022 https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5

Aero Corner, s.a. List of 14 Different Types of Drones Explained with Photos. Viitattu 28.04.2022 https://aerocorner.com/blog/types-of-drones/

CircuitsToday, 2017. Types of Drones - Explore the Different Types of UAV's. Viitattu 01.05.2022 https://www.circuitstoday.com/types-of-drones

Droneinfo, 2022. Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän suorituskyky lennossa. Viitattu 01.05.2022 https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/miehittamattoman-ilma-alusjarjestelman-suorituskyky-lennossa

Tahir, A., Böling, J., Haghbayan, M.-H., Toivonen, H.T., Plosila, J., 2019. Swarms of Unmanned Aerial Vehicles — A Survey. Journal of Industrial Information Integration 16, 100106. Viitattu 02.04.2022 https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.100106

Prodrone.com. Yksiroottirinen PDH-GS120 -drone. Viitattu 21.05.2022 https://www.prodrone.com/products/pdh-gs120/

Embention.com. Moniroottorinen M600WP -drone. Viitattu 21.05.2022 https://www.embention.com/product/m600-multirotor-drone/

Robota.us. Kiinteäsiipinen Eclipse 2.0 -drone. Viitattu 21.05.2022 https://www.robota.us/solutions/Eclipse-2.0

Embention, 2021. VTOL drones combine fixed-wing aircraft with vertical take-off and landing. Viitattu 02.05.2022 https://www.embention.com/news/vtol-drones-combine-fixed-wing-aircraft-with-vertical-take-off-and-landing/

Elevonx.com. SkyEye Sierra VTOL –hybrididrone. Viitattu 21.05.2022 https://www.elevonx.com/solutions/skyeye/

Campion, M., Ranganathan, P., Faruque, S., 2019. UAV swarm communication and control architectures: a review. J. Unmanned Veh. Sys. 7, 93–106. Viitattu 13.02.2022 https://doi.org/10.1139/juvs-2018-0009

Khan, M.A., Safi, A., Qureshi, I.M., Khan, I.U., 2017. Flying ad-hoc networks (FANETs): A review of communication architectures, and routing protocols. Viitattu 14.05.2022 https://doi.org/10.1109/INTELLECT.2017.8277614

Scharre, Paul. ”ROBOTICS ON THE BATTLEFIELD PART II: THE COMING SWARM”, 2014. Viitattu 02.04.2022 https://www.jstor.org/stable/resrep06405

Bekmezci, İlker, Ozgur Koray Sahingoz, ja Şamil Temel. ”Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A Survey”, 2013. Viitattu 19.05.2022 https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.12.004

Guinness World Records, 2021. 3,281 drones break dazzling record for most airborne simultaneously. Viitattu 13.02.2022 https://www.guinnessworldrecords.com/news/commercial/2021/5/3281-drones-break-dazzling-record-for-most-airborne-simultaneously-655062

Abdelkader, M., Güler, S., Jaleel, H., Shamma, J.S., 2021. Aerial Swarms: Recent Applications and Challenges. Curr Robot Rep 2, 309–320. Viitattu 13.02.2022 https://doi.org/10.1007/s43154-021-00063-4

Lentoposti, 2021. Wing käynnisti yhteistyön Fazerin kanssa - dronekuljetukset jatkuvat Vuosaaressa. Viitattu 02.04.2022 https://www.lentoposti.fi/uutiset/wing_k_ynnisti_yhteisty_n_fazerin_kanssa_dronekuljetukset_jatkuvat_vuosaaressa

Kaman Corporation, 2021. Kaman Unveils New Medium Lift UAV: The KARGO UAV Is A New Solution For Expeditionary Logistics. Viitattu 30.04.2022 https://www.kaman.com/kaman-unveils-new-medium-lift-uav-the-kargo-uav-is-a-new-solution-for-expeditionary-logisitics/

CBP Predator B, 2021. U.S. Customs and Border Protection. ”Unmanned Aircraft System MQ-9 Predator B (UAS)”. Viitattu 18.05.2022. https://www.cbp.gov/document/fact-sheets/unmanned-aircraft-system-mq-9-predator-b-uas

CBP, s.a. U.S. Customs and Border Protection. ”CBP Small Drones Program”. Viitattu 18.05.2022. https://www.cbp.gov/frontline/cbp-small-drones-program

Bandarupalli, A., D. Swarup, N. Weston, and S. Chaterji. ”Persistent Airborne Surveillance Using Semi-Autonomous Drone Swarms”, 19–24, 2021. Viitattu 18.05.2022 https://doi.org/10.1145/3469259.3470487

Awasthi, Saatvik, Balamurugan Balusamy, and V. Porkodi. ”Artificial Intelligence Supervised Swarm UAVs for Reconnaissance”, 2020. Viitattu 18.05.2022 https://doi.org/10.1007/978-981-15-5827-6_33

Wang, Lizhi, Xuejiao Zhao, Yuan Zhang, Xiaohong Wang, Tielin Ma, ja Xia Gao. ”Unmanned Aerial Vehicle Swarm Mission Reliability Modeling and Evaluation Method Oriented to Systematic and Networked Mission”, 2021. Viitattu 18.05.2022 https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.02.026

Raytheon Technologies, s.a. Viitattu 03.05.2022 http://www.raytheonmissilesandde-fense.com/what-we-do/counter-uas/effectors/coyote

The Defence Post, 2022. Raytheon Coyote Blasts Another Drone Mid-Air. Viitattu 03.05.2022 https://www.thedefensepost.com/2022/01/12/raytheon-coyote-destroys-drone/

HALCON, 2022. EDGE Unveils Swarming Drones Application for Unmanned Aerial Systems at UMEX 2022. Viitattu 03.05.2022 https://halcon.ae/news/679

HALCON Hunter 2-S, s.a. Viitattu 18.05.2022 https://files.halcon.ae/s3fs-public/2022-05/HUNTER_2-S_V2_220217_202655.pdf

TU Delft, 2021. Swarm of autonomous tiny drones can localize gas leaks. Viitattu 05.05.2022 https://www.tudelft.nl/en/2021/tu-delft/swarm-of-autonomous-tiny-drones-can-localize-gas-leaks

Duisterhof, B.P., Li, S., Burgues, J., Reddi, V.J., De Croon, G.C.H.E., 2021. Sniffy Bug: A Fully Autonomous Swarm of Gas-Seeking Nano Quadcopters in Cluttered Environments. Viitattu 05.05.2022 https://doi.org/10.1109/IROS51168.2021.9636217

Giernacki, Wojciech, Mateusz Skwierczyński, Wojciech Witwicki, Paweł Wroński, ja Piotr Kozierski. ”Crazyflie 2.0 quadrotor as a platform for research and education in robotics and control engineering”. Teoksessa *2017 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, 37–42, 2017. https://doi.org/10.1109/MMAR.2017.8046794.

Li, Shushuai, Mario Coppola, Christophe De Wagter, ja Guido C. H. E. de Croon. ”An autonomous swarm of micro flying robots with range-based relative localization”, 2021. Viitattu 22.05.2022 https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.05853.

Jatmiko, Wisnu, Kosuke Sekiyama, ja Toshio Fukuda. ”A pso-based mobile robot for odor source localization in dynamic advection-diffusion with obstacles environment: theory, simulation and measurement”, 2007. Viitattu 22.05.2022 https://doi.org/10.1109/MCI.2007.353419.

ICRAC, s.a. “About ICRAC” Viitattu 19.05.2022. https://www.icrac.net/about-icrac/

EASA, 2021. ”Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulation (EU) 2019/947 and Regulation (EU) 2019/945)”. Viitattu 21.05.2022. https://www.easa.europa.eu/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulation-eu.

Beaudoin, Laurent, Antoine Gademer, Loïca Avanthey, Vincent Germain, ja Vincent Vittori. ”Potential Threats of UAS Swarms and the Countermeasure’s Need”, 2011. Viitattu 19.05.2022 https://www.researchgate.net/publication/261633504_Potential_Threats_of_UAS_Swarms_and_the_Countermeasure%27s_Need

Sensofusion, s.a. ”Airfence”. Viitattu 19.05.2022. https://sensofusion.com/airfence/

Lockheed Martin, 2021. ”Counter-Swarm Technology Combats Threats”. Viitattu 19.05.2022 https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2021/Counter-Swarm-Technology-Combats-Threats-Evolving-at-the-Speed-of-Commercial-Innovation.html

Wang, Jian, Yongxin Liu, ja Houbing Song. ”Counter-Unmanned Aircraft System(s) (C-UAS): State of the Art, Challenges, and Future Trends”, 2021. Viitattu 19.05.2022 https://doi.org/10.1109/MAES.2020.3015537