Professori Karri Palovuori
Elektroniikka / energeettiset järjestelmät
Tampereen teknillinen yliopisto

21.9.2018

Eduskunnan puolustusvaliokunta

Miehittämättömien ilma-alusten ja lennokkien torjunnan käytännön näkökulmia

Miehittämättömien ilma-alusten ja lennokkien (jatkossa: lennokkien) runsas yleistyminen on johtanut tilanteeseen, jossa myös niiden torjuminen yleisen turvallisuuden tai muiden painavien syiden vuoksi voi tulla kyseeseen. Lennokkien torjuminen on kuitenkin yleisesti ottaen **erittäin haastavaa**.

Lennokkeja on laaja kirjo sekä lento- että ohjausperiaatteiltaan. Merkittävin ilmiö on ollut lentovalmiina kaupasta ostettavien puoliautonomisten, sähkömoottoristen, moniroottoristen 'monikopterien' yleistyminen. Edelleen on kuitenkin olemassa myös 'perinteisiä' kiinteäsiipisiä lennokkeja, helikoptereita ja ilmalaivoja, vaihtelevassa määrin itse rakennettuina, ja täysin manuaaliohjattavista täysin autonomisiin. Erilaiset lennokit ovat haavoittuvia eri torjuntamenetelmille hyvin vaihtelevasti. On syytä huomata, että jotkin perinteisistä lennokkityypeistä soveltuvat tiettyihin ei-toivottuihin toiminnallisuuksiin paremmin kuin uudet monikopterit. Esimerkiksi kiellettyjen kohteiden kuvaamiseen soveltuvat parhaiten ilmalaivat, joiden lentoaika on hyvin pitkä ja havaitseminen erityisen vaikeaa, mutta itse torjunta helpompaa.

Lennokkien torjunta edellyttää ensin lennokin havaitsemisen ja sen jälkeen menetelmän vaikuttaa siihen joko häiritsemis- tai vahingoittamistarkoituksessa.

Lennokin havaitseminen

Tyypillisesti lähellä lentävä kaupallinen monikopteri havaitaan ensimmäisenä ominaisäänestään. Jos etäisyyttä tai taustamelua on enemmän, ei kopterin havaitseminen äänen perusteella ole luotettavaa. Automatisoituja järjestelmiä äänen tunnistamiseksi ja jopa suuntimiseksi ja siten kopterin paikantamiseksi on demonstroitu ja esitelty viimeaikaisissa tieteellisissä julkaisuissa. Havaitsemisetäisyys on yleensä maksimissaan joitakin satoja metrejä. Muut lennokkityypit tuottavat erilaista ääntä, ja esimerkiksi ilmalaivat eivät välttämättä lainkaan.

Lennokin havaitseminen visuaalisesti eli näkemällä on vieläkin rajoittuneempaa. Käytännössä jopa lennokkiharrastajille suositellaan apulaisen, 'spotterin', käyttöä lennätyksessä mukana siltä varalta että lennokki hukkuu taivaalle lennättäjältä itseltään vahingossa. Useissa lennokeissa on kirkkaita valoja havaitsemisen helpottamiseksi, mutta siitä huolimatta lennokkia voi olla taivaalta vaikeaa löytää. Valot voi myös pimentää, jos tarkoituksena on jäädäkin havaitsematta. Hyvissäkin olosuhteissa lennokin havaitsemisetäisyys voi jäädä vain kymmeniin metreihin.

Nykyiset lennokit ovat lähes poikkeuksetta erinomaisesti havaittavissa lämpökameroilla, koska taustalla näkyvän taivaan lämpökuva on erittäin kylmä ja kontrasti siksi erinomainen. Lämpökamerat ovat edelleen suhteellisen harvinaisia ja kalliitakin laitteita, mutta juuri parhaillaan tämä on nopeasti muuttumassa.

Monet nykyisistä kaupallisista lennokeista lähettävät radiosignaalia (videokuva, telemetriatieto, langattoman verkon ylläpito) ja ne voidaan periaatteessa havaita ja paikantaa näiden perusteella. Tämä vaatii kuitenkin hyvin kehittynyttä suuntimislaitteistoa. Jos alueella on paljon muuta langatonta tiedonsiirtoa (normaali kaupunkiympäristö), ei tämä havaitsemistapa useinkaan toimi edes teoriassa. Sama tarkastelu pätee lennokin kauko-ohjaajan havaitsemiseen ja paikantamiseen. Ongelmallista on se, että osa lennokeista kykenee lentämään autonomisesti eikä ohjaajaa siis välttämättä ole lainkaan tai ainakin radioyhteys voi olla sammutettuna osan aikaa.

Korkealla lentävät lennokit on mahdollista havaita myös perinteisellä ilmavalvontatutkalla, mutta ellei lennokki ole poikkeuksellisen suuri, näkyy se tutkakuvassa vain linnun kokoisena ja näköisenä. Useimmiten tutkissa käytetään suodatusta, joka poistaa näin pienet kohteet merkityksettöminä. Matalalla lentävää lennokkia ei voi havaita tutkakuvasta, koska lähellä olevat maakohteet aiheuttavat paljon sitä suurempaa tutkavälkettä.

Lennokin häiritseminen

Lennokin häiritsemisellä tarkoitetaan yleensä sen radio-ohjauksen häiritsemistä. Käytännössä häiritsemisen toteuttaminen vaihtelee alkeellisen yksinkertaisesta täysin mahdottomaan, riippuen radio-ohjauksen teknisestä toteutuksesta. Perinteisesti lennokkeja on ohjattu yksinomaan radio-ohjaukseen varatuilla radiotaajuuksilla toimivilla laitteilla. Nykyään yleisimmät kaupalliset kopterit käyttävät sen sijaan normaalia langatonta 'WiFi' verkkoa tai lupavapaita ISM taajuuksia omilla tiedonsiirtoprotokollillaan. Myös normaalia mobiiliverkkoa voidaan käyttää, varsinkin tulevaisuudessa sen viiveiden lyhentyessä.

Jos lennokki lähettää radiosignaalia, voidaan sen käyttämät radiotaajuudet yleensä helposti mitata siihen suunnatulla suunta-antennilla ja spektrianalysaattorilla. Hyvin usein itse radio-ohjaus tapahtuu samoilla taajuuksilla ja silloin samalla suunta-antennilla voidaan myös estää varsinaisen radio-ohjauksen perille kulku käyttämällä samalle taajuudelle säädettyä häirintälähetintä. Jos lennokki ei itse lähetä mitään, joudutaan taajuus arvaamaan. Se, miten lennokki radiohäirintään reagoi, vaihtelee. Osa lennokeista jatkaa lentämistään viimeisimmän ohjauksen perusteella, osa luulee virheellisesti saavansa nyt uutta satunnaista ohjaussignaalia, ja osa turvautuu ennalta valittuun hätävaihtoehtoon kuten laskeutuu tai palaa lähtöpaikalleen. Kahdessa ensimmäisessä tapauksessa lennokki todennäköisesti putoaa.

Useissa lennokeissa on nykyään lennättämisen helpottamiseksi jonkin asteista autonomista toimintakykyä, joka yleensä perustuu satelliittipaikannukseen. Tällöin lennokki esimerkiksi kykenee pysymään taivaalla paikallaan ilman jatkuvaa ohjausta tai lentämään ennalta asetettua reittiä pitkin. Tätä toiminnallisuutta voidaan häiritä tai estää häiritsemällä satelliittipaikannustaajuuksia (kohdennetusti suunta-antennilla). Koska satelliiteista

vastaanotetun paikannussignaalin voimakkuus on äärimmäisen heikko, on sen häiritseminenkin vastaavasti helppoa.

Uusimmissa lennokeissa osa autonomiasta on toteutettu videokameroilla ja konenäöllä. Tällöin kamerat kirkkaalla valolla (laser) sokaisemalla, voidaan tämäkin toiminnallisuus estää. Samalla häiriintyy mahdollinen videokuvaus. Sokaisu toimii vain sen suuntaan kuvaaviin kameroihin.

Erityistapauksissa häiritsemisellä voidaan myös kaapata lennokki. Perinteisillä lennokkiradioilla tämä oli varsin yleistäkin - jopa vahingossa - mutta nykyään yhä vaikeampaa. Autonomista lennokkia, joka suorittaa tehtäväänsä satelliittipaikannuksen avulla, voitaisiin periaatteessa hallitusti harhauttaa sopivalla lähetteellä ja täten ohjailla, kuten on valvotuissa olosuhteissa jo demonstroitukin. Turvallista laskeutumista näin ei kuitenkaan saataisi aikaiseksi, mutta joltain kriittiseltä alueelta turvallisemmalle siirtäminen ehkä onnistuisi.

Lennokin vahingoittaminen

Lennokit ovat rakenteeltaan usein varsin haavoittuvia, koska ne on rakennettu mahdollisimman kevyiksi ja tarkoituksellista vahingoittamismahdollisuutta ei ole huomioitu suunnittelussa. Tosin kaupallisissa laitteissa on pyritty kiinnittämään huomiota myös niiden törmäyskestoon, koska käyttäjäkunnan laajetessa keskimääräinen lennätystaitokin vähenee. Lennokin vahingoittaminen sen pudottamiseksi on lähinnä vaikeaa siksi, että lennokki on kaukana, korkealla ja liikkuu. Lisäksi lennokin pudottaminen on aina vaarallista alla olijoille.

Ilmeisin tapa vahingoittaa lennokkia on ampua sitä. Tavalliset aseet soveltuvat tähän kuitenkin hyvin huonosti ja korkealla paikallaankaan leijuvaan lennokkiin on käytännössä mahdotonta osua. Kohde on pieni, suuri ampumakoro vaatii hallittua tähtäyspisteen muuttamista ja korkealla tuulee aina. Lisäksi luotiaseella ammuttaessa, luoti kohteen ohi tai sen läpi lentäessään jatkaa matkaansa aiheuttaen vaaraa vielä pitkänkin matkan päässä laskeutumispisteessään. Matalalla (30 m) lentävää lennokkia on mahdollista ampua haulikolla tehokkaasti ja suhteellisen turvallisestikin. Teknologian tämän hetkistä huippua edustaa paikallaan leijuvan lennokin ampuminen ajastetulla ammuksella, joka ei vaadi varsinaista kohteeseen osumista ollakseen tehokas. Tässä haasteena on menetelmän vaatiman laseretäisyysmittauksen onnistuminen pieneen kohteeseen. Menetelmä on myös hyvin kallis.

Jos ampumaetäisyyttä kyetään lyhentämään, esimerkiksi sijoittamalla ase toiseen lennokkiin ja lentämällä se kohteen viereen, muuttuu ampuminen oivalliseksi keinoksi lennokin tuhoamiseen. Tällöinkin on huomioitava turvallinen ampumissuunta eli taustalla olevat kohteet ja niiden etäisyys. Kuitenkin esimerkiksi haulikolla vaara-alue on suhteellisen lyhyt ja erityispanoksilla (esim. vesi) olematon. Tätä periaatetta käyttäviä kaupallisia järjestelmiä on alkanut tulla markkinoille. Usein lopullisessa tähtäyksessä käytetään apuna konenäköä, jolloin kohteen liikehdintään kyetään reagoimaan automaattisesti. Jos lennokki on tarpeen tuhota keinolla millä hyvänsä, voidaan siihen myös törmätä toisella lennokilla, jolloin molemmat tuhoutuvat hyvin suurella todennäköisyydellä. Tällöin alas putoavan materiaalinkin määrä valitettavasti kasvaa.

Erityisesti koptereita vastaan hyvin lupaava torjuntakeino on verkko. Kopterin roottorien nopea pyöriminen yhdessä niiden aiheuttaman voimakkaan imun kanssa varmistavat sotkeutumisen mihin tahansa lähettyvillä oleviin kuituihin. Verkko voidaan joko ampua lennokkia kohti (maasta tai toisesta kopterista) tai avoimena riiputtaa sen päälle. Kumpikin menetelmä on jo aktiivikäytössä. Maasta ammuttaessa verkko tosin tulee kyseeseen vain

hyvin matalalla ja lähellä lentävien lennokkien torjunnassa. Toisesta kopterista tapahtuvan verkkopyydystyksen erityisenä lisähyötynä on kaapattavan kopterin saaminen alla olijoita vaarantamatta talteen, mikäli kaappaava kopteri on riittävän suuri saaliin kannatteluun.

Lennokkien kaappaamiseen on viranomaisten toimesta käytetty joissain maissa myös koulutettuja kotkia ja haukkoja. Käytännön kokemukset eivät ole olleet lupaavia, sillä lintujen komentaminen on osoittautunut vaikeaksi ja lennokin kaappaaminen on itse linnulle vaarallista. Sitä on siis vaikea harjoitellakaan. Esimerkiksi Alankomaissa menetelmästä ollaan luopumassa.

Lennokkien vahingoittamiseen hallitusti ja etäältä on useissa yhteyksissä esitetty käytettäväksi suurtehoisia suunnatun energian aseita, kuten lasereita ja mikroaaltolähettimiä. Riittävän tehokkaita lasereita onkin olemassa, mutta ne ovat hyvin kalliita ja suuria laitteistoja, eikä niiden käyttö ole vielä realistista. Tekniikan kehitys juuri tällä sektorilla on kuitenkin poikkeuksellisen nopeaa ja useat puolustusvalmistajat ovat ilmoittaneet tuovansa seuraavan kymmenen vuoden kuluessa nimenomaan lennokintorjuntaan tarkoitettuja lasereita markkinoille.

Lopuksi

Lennokkien torjunta on mahdollista, mutta teknisesti vaikeaa. Lennokki tulee ensin havaita ja sen jälkeen estää sen toiminta. Usein lennokki tällöin putoaa ja mahdollisesti aiheuttaa enemmän vaaraa kuin alun perin. Joissain tapauksissa aikaa havaitsemiseen, tilanteen analysointiin, päätöksentekoon ja torjuntaan on yhteensä vain kymmeniä sekunteja. Jos koko toimintaketju ei ole etukäteen harjoiteltu ja vaiheiltaan selkeä, ei torjuntaan kyetä.

Tampere 20.9.2018

Professori Karri Palovuori
Tampereen teknillinen yliopisto