INSINÖÖRIUPSEERILIITTO RY

Insinööriupseeri

Insinööriupseeri

Insinööriupseeriliitto ry

Tässä lehdessä:

Päätoimittajan mietteitä 5
Puheenjohtajan terveisiä 7
Ihminen ja kone yhteisellä taistelukentällä – mikä muuttuu? 8
Koneiden sodan osatekijät 12
Sotilasdroonit puolustusteollisuuden insinöörien silmälasein 19
Taktinen tiedonsiirto osana autonomista järjestelmää 23
Aonomiset järjestelmät tulevaisuuden taistelukentällä: edut, sovellukset ja tutkimushaasteet 32
War of Machines – A Rheinmetall Canada Perspective 39
Pitkän kantaman yhteydet ja läpinäkyvä taistelukenttä 44
Koneet ja toimijuus – miten valjastaa teknologian tuoma muutos vahvuudeksi 50
Tilanneymmärrys multidomain-ympäristöstä 57
Tulevaisuuden EO-sensori on älykäs, oppiva ja verkottunut 62
Drone-operaatioiden ja tilannekuvan parantaminen immersiivisten teknologioiden avulla 65
Ajatuksia miehittämättömien järjestelmien operoinnista 67

Insinööriupseeriliitto ry

PL 919, 00131 Helsinki

ISSN-L 1798-3622 ISSN 1798-3622

Offset Ulonen Oy, Tampere 2025

Päätoimittajan mietteitä

- Insinöörieversti (evp) Jyri Kosola -

Tämän lehden teemana on koneautomaatio, jonka arvioidaan muodostavan seuraavan sodankäynnin vallankumouksen. Teknologian kehittyminen on muuttanut monilla tavoilla sitä, miten sodankäyntiä käydään. Yksi merkittävimmistä ja kiistanalaisimmista edistysaskelista on robottien ja autonomisten järjestelmien käyttöönotto sotilastoiminnassa. Robottien rooli sodassa on moninainen, ja se herättää sekä suuria toiveita että huolia.

Robottien käyttö sodassa voidaan jakaa useisiin eri kategorioihin riippuen niiden tarkoituksesta ja toiminta-alueesta: Tappaminen ja taistelutoiminnot: Robottien rooli tappamisessa on se, joka herättää eniten keskustelua ja huolta. Itsenäisesti toimivat asejärjestelmät, kuten lentävät droonit tai maassa kulkevat autonomiset ajoneuvot, voivat suorittaa taistelutehtäviä ilman suoraa inhimillistä ohjausta. Näitä järjestelmiä voidaan käyttää tarkka-ampujien, pommien tai ohjusten kuljettamiseen ja laukaisemiseen, ja niiden kyky reagoida nopeasti muuttuviin taistelukentän olosuhteisiin voi antaa niille etulyöntiaseman ihmismiehitettyihin järjestelmiin verrattuna.

Droonit ja muut robottijärjestelmät ovat erityisen tehokkaita tiedustelussa ja valvonnassa. Ne voivat lentää tai liikkua alueilla, joihin ihmiset eivät pääse tai jotka ovat liian vaarallisia. Robotteja käytetään myös saamaan reaaliaikaista tietoa vihollisen liikkeistä, valvomaan rajojamme ja seuraamaan tilannetta konfliktialueilla.

Robottien käyttö logistisissa tehtävissä on toinen tärkeä alue. Autonomiset ajoneuvot voivat kuljettaa varusteita, ammuksia ja ruokatarvikkeita taistelijoille etulinjassa, jolloin ne vähentävät ihmisten altistumista vaaralle. Myös kenttähuollon robotit, kuten mekaaniset kädet tai muuta huoltoa tekevät robotit, voivat avustaa vähemmän kriittisissä, mutta tärkeissä toiminnoissa, mikä parantaa taistelutehokkuutta.

Robotteja voidaan käyttää myös pelastustehtävissä, joissa niillä on etu verrattuna ihmisiin. Esimerkiksi vammautuneiden sotilaiden pelastaminen taistelukentältä voi olla vaikeaa ja vaarallista, mutta autonomiset robotit voivat liikkua nopeasti ja saattaa haavoittuneen turvallisesti pois vaarallisilta alueilta.

Vaikka robottien käyttö sodassa tuo mukanaan merkittäviä etuja, siihen liittyy myös lukuisia teknologisia ja eettisiä haasteita. Yksi suurimmista haasteista on robotin itsenäisyyden taso. Nykyisin monet sotilasrobotit vaativat edelleen ihmisen valvontaa tai ohjausta, mutta täysin autonomiset järjestelmät, jotka pystyvät tekemään päätöksiä ilman inhimillistä

väliintuloa, ovat jo kehitteillä. Tällaisen järjestelmän luotettavuus ja turvallisuus ovat keskeisiä huolenaiheita, sillä virheelliset päätökset voivat johtaa ei-toivottuihin seuraamuksiin, kuten siviiliuhrien tai väärän kohteen hyökkäyksiin.

Autonomiset järjestelmät, kuten robotit, ovat alttiita kyberhyökkäyksille. Hackkerit voivat kyberhyökkäyksin ottaa hallintaansa robotti-järjestelmiä, jolloin niitä voidaan käyttää väärin tai jopa kääntää niitä itseään vastaan. Tämä tekee robottien turvaamisen ja kyberpuolustuksen kehittymisestä elintärkeän osan niiden käyttöä sodassa.

Robottien käyttö sodassa herättää myös eettisiä kysymyksiä. Voiko ja tuleeko ihmisen vastuulle jäädä päätös siitä, milloin käyttää robottia tappamiseen? Jos robotti tekee virheen, kuka on vastuussa? Entä miten varmistetaan, ettei robotti kohdistu siviileihin tai muita ei-taistelijoita kohtaan? Nämä kysymykset eivät ole vain teknisiä, vaan myös juridisia ja moraalisia.

Vaikka robottiteknologia voi vähentää ihmishenkien menetyksiä tietyissä tehtävissä, se ei poista inhimillistä elementtiä sodassa. Inhimillinen harkinta, empatia ja moraaliset arvot ovat edelleen tärkeitä päätöksenteossa, ja robotit eivät voi korvata näitä piirteitä. Tästä huolimatta monet huolestuvat siitä, että robottien liiallinen käyttö voi vähentää sodan inhimillistä ulottuvuutta ja tehdä siitä "kylmemmän" ja vähemmän säälimättömän.

Robottien rooli sodassa tulee todennäköisesti vain kasvamaan lähivuosina. Robottiteknologia kehittyy nopeasti, ja sen soveltaminen taistelukentällä tulee todennäköisesti muuttamaan sodankäynnin luonteen entistä enemmän. Samalla niin valtioiden kuin kansainvälisten järjestöjen täytyy laatia sääntöjä ja sopimuksia, jotka säätelevät robottien käyttöä sodassa, varmistaen, ettei niitä käytetä väärin ja että kansainväliset ihmisoikeusnormit säilyvät.

Robottien käyttö sodassa tuo mukanaan monia mahdollisuuksia, mutta myös suuria haasteita. Teknologian edistyessä on tärkeää, että sekä valtioiden että kansainvälisten yhteisöjen tasolla keskustellaan robottien eettisistä, lainsäädännöllisistä ja käytännöllisistä näkökohdista. Ainoastaan huolellisesti suunniteltu ja säädelty robottien käyttö voi varmistaa, että ne tuovat mukanaan etuja ilman, että ne johtavat hallitsemattomaan väkivaltaan tai epätoivottuihin seurauksiin.

insinööriupseereilla on tärkeä rooli robotiikan soveltamisessa monilla eri aloilla, erityisesti puolustusvoimissa, mutta myös siviilielämässä teknisissä ja insinööriammateissa. Insinööriupseerit toimivat usein vastuullisissa johtotehtävissä, joissa heidän tekninen osaamisensa yhdistyy johtamistaidot. He tekevät päätöksiä, jotka vaikuttavat paitsi teknisiin ratkaisuihin myös strategisiin ja taktisiin valintoihin kenttäolosuhteissa.

Insinööriupseereilla on usein laaja-alainen osaaminen ja kyky soveltaa insinööritieteitä eri konteksteissa. Heillä on hyvät ongelmanratkaisutaidot ja kyky työskennellä paineen alla, mikä tekee heistä arvokkaita monilla eri sektoreilla.

Tekoälyn kehittymisen myötä yhä useampi tehtävä siirtyy koneelta ihmiselle. Näin käy myös lehden toimituksessa, jossa ihminen kertoo tekoälylle minkälaisen jutun se haluaa koneen kirjoittavan. Esimerkiksi roboteista ja insinööriupseerikunnasta.

Antoisia lukuhetkiä!

Jyri Kosola

PS. Osa lukijoista saattaa ihmetellä vuoden 2024 lehden julkaisuajankohtaa. Selitys on yksinkertainen; kyseessä on jo perinne.

PS2 On riski, että tämä perinne murtuu tänä vuonna, kun päätoimittaja voi keskittää tarmonsa ydintehtäviin tarvitsematta tuhlata aikaa sekundäärihommiin.

Puheenjohtajan terveisiä

- Insinöörieversti Tero Solante -

Vuosi 2025 on alkanut haastavissa merkeissä, ja maailman turvallisuustilanne on edelleen epävakaa. Venäjän sota Ukrainassa on jatkunut jo useamman vuoden ajan, ja sen vaikutukset tuntuvat laajasti. Viimeisimpien tietojen mukaan Venäjä on kärsinyt sodan kovimpia tappioita tähän mennessä. Silti riski siihen, että Venäjä saattaa pyrkiä testaamaan Naton yhtenäisyyttä ja puolustuskykyä erityisesti Baltian alueella on kasvanut.

Itämeren turvallisuustilanne on muuttunut merkittävästi. Viimeaikaiset tapahtumat, kuten merikaapelien vaurioitumiset, ovat herättäneet huolta alueen vakaudesta. Itämeren alueen maat ovat joutuneet tehostamaan valmiuttaan ja varautumaan mahdollisiin uhkiin. Ruotsin ja Viron merivoimien komentajat ovat todenneet, että Itämeren turvallisuustilanne on vakava.

Näiden haasteiden keskellä on tärkeää, että me insinööriupseerit pidämme huolta osaamisemme ja valmiutemme jatkuvasta kehittämisestä. Teknologian ja strategian yhdistäminen on avainasemassa, kun pyrimme vastaamaan uusiin uhkiin ja turvaamaan maamme ja liittolaistemme turvallisuuden.

Insinööriupseeriliiton yksi tärkeä tehtävä on ylläpitää jäsenistönsä osaamista maanpuolustukseen. Tämän vuoksi viime marraskuussa järjestettiin Koneiden sota -seminaari. Se onnistui erinomaisesti ja se keräsi yhteen 150 tekniikan osaajaa sekä ammattilaista niin valtionhallinnosta, yrityksistä kuin tiedeyhteisöistäkin. Esitysten annista ja keskeisestä sisällöstä saadaankin lukea myös tästä lehdestä.

Liitossamme on vuosien varrella rakentunut vahva yhteishenki ja jäsenistön tuki toisilleen. Se on perusta, johon voimme aina luottaa ja joka auttaa meitä selviytymään kaikista edessämme olevista haasteista. Vahva yhteishenki ja yhdessä tekeminen ei kuitenkaan synny tyhjästä. Se vaatii yhteisiä tavoitteita sekä arvoja, joita Insinööriupseeriliitto vaalii korkealla. Tavoitteenamme onkin olla entistä vahvempi ja vaikuttavampi ääni insinööriupseereille niin Puolustusvoimissa kuin yhteiskunnassa laajemmin.

Liiton 100-vuotisjuhlat lähestyvät kovaa vauhtia. Toivottavasti mahdollisimman moni pääsee juhlimaan yhdistystämme, joka on lähes yhtä vanha kuin Puolustusvoimatkin.

Tulevaisuus tuo mukanaan uusia haasteita, mutta myös mahdollisuuksia. Teknologian kehitys ja yhteiskunnan muutos avaavat meille monenlaisia näkymiä, ja me insinööriupseerit olemme avainroolissa näiden muutosten toteuttamisessa. Meidän asiantuntemuksemme ja kyvykkyytemme mahdollistavat paitsi Puolustusvoimien kehittämisen, myös yhteiskunnan turvallisuuden ja kehityksen tukemisen.

Yhdessä rakennamme tulevaisuutta, jossa meillä on entistä enemmän mahdollisuuksia kasvaa ja kehittyä ammatillisesti ja voimme ylpeinä kantaa insinööriupseerin arvomerkkejä.

Tero Solante

Ihminen ja kone yhteisellä taistelukentällä – mikä muuttuu?

Janne Ropponen, Sari Mäenpää, Jussi-Tuomas Pölkki

Johdanto

Ihmisten ja koneiden yhteistoiminta taistelukentällä on eri teknologioiden ja toimintatapojen yhdistelmä. Koneilla tässä artikkelissa tarkoitetaan maalla, vedessä tai ilmassa operoivia laitteita ja ajoneuvoja. Osa ajoneuvoista voi olla ihmisen suoraan ohjaamia (tavalliset ajoneuvot) ja osa miehittämättömiä lavetteja, kuten esimerkiksi droonit tai kaukoohjatut maalavetit, joiden ohjaamisesta vastaa ihminen.

Ihmisten ja koneiden yhteistoiminnan kehittämisessä taistelukentällä on valtavasti potentiaalia ja siten mahdollisuus parantaa joukkojen operatiivista tehokkuutta, turvallisuutta ja reaktiokykyä. Koneiden avulla voidaan mm. säästää ihmishenkiä käyttämällä koneita ihmisen sijasta tai apuna vaarallisissa ympäristöissä tai tehtävissä. Yhteistyön optimointi vaatii kuitenkin vielä tutkimusta, kehitystä ja kokeiluja, jotta löydetään hyvät ja toimivat ratkaisut monimutkaisiin tilanteisiin ja vaihteleviin ympäristöihin.

Miehittämättömien lavettien kyvykkyydet kehittyvät nopeasti. Tästä hyvä esimerkki on droonien käytön laajentuminen ja käyttötapojen kehittyminen Ukrainan sodan aikana. Esimerkiksi pitkien etäisyyksien päähän tehdyissä drooniiskuissa on voitu käyttää satelliittiyhteyksiä tai ennalta ohjelmoituja reittejä. Tässä artikkelissa pohditaan, mitä miehittämättömien lavettien laajempi käyttö yhteistoiminnassa ihmisen kanssa edellyttää teknologialta ja toimintakulttuurilta, ja mitä tämä kehitys mahdollistaisi.

Lavettiteknologian kehitys

Jotta miehittämättömät lavetit voivat toimia yksittäin tai yhdessä älykkäästi ja itsenäisesti erilaisissa toimintaympäristöissä kuten kuumassa ja kylmässä, tuulessa ja sateessa, häirittynä sekä erilaisissa maastoissa, tulee niissä olevien teknologioiden vielä kehittyä. Esimerkiksi lavettien omaan paikannukseen ja lavettien

kommunikointiin liittyy usein merkittäviä ongelmia, kun niitä -häiritään.

GNSS-paikannus on hyvin altis sopivasti kohdistetulle pienitehoisellekin häirinnälle, joka lisää paikannuksen epätarkkuutta tai estää paikannuksen ja sen kautta itsenäisen tehtävien suorittamisen kokonaan. Lavettien paikannuksen osalta voidaan GNSS-häirinnän vaikutus monissa tilanteissa kiertää käyttämällä eri paikannusmenetelmien yhdistelmiä. Esimerkkinä tästä maamerkkien tunnistus ja IMU-laitteiston (Inertial Measurement Unit) käyttö. Kuitenkin myös erilaisien paikannusmenetelmien yhdistäminen pitää pystyä hallitsemaan ja ottamaan mahdolliset ongelmakohdat huomioon lavettien toiminnassa. Yksi mahdollinen ongelma on paikannustarkkuuden vaihtelu eri menetelmiä käytettäessä. Paikannustarkkuus voi vaihdella kymmenestä senttimetristä kymmeneen metriin, jolloin esimerkiksi esteiden väistössä pitää olla erilaisia älykkäitä toimintatapoja käytössä.

Myös lavettien kommunikoinnissa on mahdollista käyttää korvaavia keinoja, jos jotain tiettyä kommunikointitapaa häiritään. Näissä vaihtoehdoissa on kuitenkin omat käyttöä rajoittavat puolensa. Esimerkiksi kaapelin yhdistämä lavetti ei monessakaan tehtävässä ole mahdollinen ja usein uudet menetelmät tuovat lavetteihin lisäantenneja, -laitteita tai -parametrointeja, jotka ainakin pienemmissä laveteissa on vaikea ottaa käyttöön sujuvasti.

Maalavettien liikkuminen itsenäisesti hankalassa maastossa, esimerkiksi tiheässä ja vaikeakulkuisessa metsässä ja tiheästi liikennöidyllä alueella, on ongelmallista. Tällaiset liikkumiseen liittyvät ongelmat eivät ole läheskään yhtä merkittäviä ilmassa tai veden pinnalla toimivilla laveteilla. Kantaman ja tiedonsiirron rajoituksien sekä viiveiden ja häiriöiden yleisyyden takia pinnan alla toimivilla laveteilla ongelmien määrä on suurempi esimerkiksi kommunikoinnin mahdollistamisessa ja ympäristön havainnoinnissa.

Maalavettien etenemistapoihin ei ole näköpiirissä nopeita ratkaisuja. Pyörillä ja teloilla kulkevissa laveteissa on rajoitteita vaikeassa maastossa kulkemisessa pienillä ja keskisuurilla laveteilla, jotka ovat yleisesti käytössä ketteryytensä ja edullisuutensa vuoksi. Lisäksi jaloilla tai erikoisemmilla ratkaisuilla kulkevien lavettien teknologia on vielä varsin kaukana toimiakseen erityyppisillä alustoilla (erityisesti pehmeät ja liukkaat) ja eri olosuhteissa. Etenemistavan lisäksi myös esteiden ja maaston tarkan havainnoinnin kanssa saattaa tulla ongelmia johtaen väärin päätöksiin liikkumisessa. Esimerkiksi pölypilvi voi estää liikkumisen, jos se tulkitaan esteeksi.

Yksittäisten lavettien ja lavettijoukkojen älykkäässä toiminnassa esiehtona on edellä lueteltujen teknologioiden riittävän hyvä toimivuus. Tällaista älykästä toimintaa on pystytty onnistuneesti testaamaan reaalimaailman helpoissa olosuhteissa ja erityisesti simulointiympäristössä. Simulointiympäristössä päästään helpoiten testaamaan lavettien toimintaa vaihtelevissa olosuhteissa ja kehittämään erilaisia toimintamalleja.

Simuloinneissa on pystytty osoittamaan, että konejoukon toiminta onnistuu erilaisissa olosuhteissa älyn osalta hyvin, jos vain muu lavetteihin liittyvä teknologia toimii. Toisaalta koneiden älyä pitäisi kehittää ottamaan paremmin huomioon erilaisia ongelmatilanteita, olosuhteiden muutoksia ja mahdollisuuksia, jotta koneet voisivat toimia reaalimaailman vaikeissa olosuhteissa myös osittain toimimattoman teknologian kanssa.

Yhteistoiminta ihmisen kanssa

Kuten itsenäisessä älykkäässä toiminnassa myös ihmisen kanssa toimiessaan miehittämättömien lavettien tulee pystyä toimimaan hyvin kaikilla edellä mainituilla osa-alueilla. Yhteistoiminta ihmisen kanssa tuo lisää ratkaistavia haasteita. Ensinnäkin ihmisen tulee pystyä viestimään lavettien kanssa erilaisissa ympäristöissä ja tilanteissa. Toisaalta ihmisen tulee voida luottaa koneiden toimintaan, jotta niiden suorituskyky saadaan täysimääräisesti käyttöön.

Ihmisen ja koneiden välinen toiminta jaotellaan operointietäisyyden mukaan kolmeen päätoimintatapaan:

- Poissa näköetäisyydeltä toiminta (Beyond-Line-of-Sight, BLOS)
- Näköetäisyydellä toiminta (Line-of-Sight, LOS)
- Lähietäisyydellä toiminta (Short Range).

Näistä kahdessa ensimmäisessä kyseessä on yleensä radioiden kautta tai jollain vastaavilla tavoilla kommunikoinnista koneiden kanssa. Lähietäisyydellä kommunikoidessa voidaan sen sijaan käyttää hyvin erilaisia tapoja ja laitteita kuten akustiset sensorit tai kamerat suoraan lavetissa.

Ihmisen ja koneen välisen viestinnän teknologiat kehittyvät hyvin nopeasti. Luonnollisen kielen käsittelyn ja generatiivisen tekoälyn kehitys ovat tuoneet uusia, ihmiselle luonnollisia keinoja kommunikoinnin tehostamiseksi. Pelkän puheen tai eleiden avulla ohjaaminen on jo teknisesti mahdollista, mutta kommunikoinnin aloitus, lopetus ja muut vastaavat metakommunikoinnin tapahtumat pitää myös saada toimimaan luotettavasti ennen kuin nämä keinot voidaan ottaa laajasti käyttöön.

Vuosi sitten päättyneessä iMUGS-hankkeessa (EDIDP, 2020-23) tutkittiin UGV-parven ja sen kanssa toimivien taistelijoiden välistä viestintää ja tarkasteltiin esimerkiksi parven ja taistelijoiden tapaamista ja toiminnan jatkamista yhdessä tapaamisen jälkeen. Alla (Kuvassa 1) on parven ja taistelijoiden tapaamiseen ja yhteiseen tehtävään liittyviä kuvia hankkeessa käytetystä iSwarm-simulaattorista.

Kuvat Instan iSwarm-simulaattorista. Ylempänä parven ja taistelijoiden tapaaminen yhteisen tehtävän aloittamiseksi ja alempana parvi suojaamassa taistelijaa tulitukselta.

Tutkimuksessa havaittiin, että tällaiset ihmisen ja koneen vuorovaikutukset on suunniteltava ja testattava hyvin tarkasti, jotta ne saadaan toimimaan käytännössä. Lisäksi laveteissa pitää olla käytössä sopivia tiedonvälityslaitteita, kuten valoja tms., taistelijoiden kanssa viestintään.

Tulevaisuuden mahdollisuudet lavettiteknologioissa

Teknologian kehityksen ja käyttöönoton näkymien perusteella 2020-luvun lopulla miehittämättömiä maalavetteja alkaa olla sotilaallisessa käytössä kuten ilmalavetteja on jo nyt. Samalla kaikkien lavettien kyvyt ja ominaisuudet kehittyvät niin, että lavettien toiminta on nykyistä itsenäisempää ja älykkäämpää.

Ilmalavettien osalta on mahdollista käyttää edullisia ja pieniä laitteita, mikä mahdollistaa erityisesti laitteiden korvattavuuden ja sen mukaiset käyttötavat. Maalaveteissa tämä ei todennäköisesti ole realismia vielä aivan lähitulevaisuudessa. Toisaalta maalavettien ja ilmalavettien yhteiskäytössä voidaan yhdistää kummankin lavetti-ryhmän hyviä puolia. Esimerkiksi maalavettien pidempi käyttöaika voitaisiin yhdistää lentolavettien parempaan liikkumiskykyyn viemällä maalaveteilla

ilmalavetit sopivaan paikkaan odottamaan käyttöä.

Autonomisten lavettien käytössä pitää muistaa myös niiden käytön vaatimukset kaikille niiden tehtävien vaiheille pelkän suoritusvaiheen lisäksi. Jotta lavettilaitteisto on käytettävissä suoritukseen, pitää sen koko huoltoketjun toimia. Lisäksi lavettien käytössä voidaan tarvita operaattoreita jopa yhtä paljon tai enemmän kuin lavetteja on käytössä riippuen siitä, miten niiden johtamis- ja ohjaamisjärjestelmät toimivat ja miten paljon laveteissa on älyä. Kun laveteissa on enemmän älyä, on lavettien käytössä olevien tietojen oltava ajantasaista. Operaatiot on suunniteltava ja valmisteltava alusta loppuun asti. Tämä tarkoittaa, että myös tehtävän aikaiseen tukeutumiseen, päätöksentekoon ja erilaisiin tilanteisiin reagoimiseen on varauduttava, mikä kokonaisuutena vaatii uusia välineitä ja menetelmiä koko toimintaketjussa.

Tulevaisuuden mahdollisuudet lavettien yhteistoiminnassa ihmisen kanssa

Nykyisin on mahdollista kasvattaa tilannetietoisuutta ja nopeuttaa vaikuttamista miehittämättömien lentolavettien käytöllä. Tällaisen toiminnan pääosassa ovat olleet havainnoivia ja vaikuttavia lavetteja ohjaavat operaattorit ja heidän välinen tiedonvaihto. Jatkossa sekä havainnoivien että vaikuttavien lavettien yhteistyöllä on mahdollista nopeuttaa ja lisätä tällaista toimintaa. Ihmisen pitää edelleen olla mukana vaikuttamiseen liittyvässä päätöksenteossa, jotta varmistetaan eettisten ohjeistusten ja voimankäyttösäännösten noudattaminen. Kuitenkin, jos ihminen on mukana koneiden päätöksenteossa reaaliaikaisesti hyväksyjänä, hidastaa se toimintaa tai voi jopa estää sen varsinkin, jos toimivia viestintäyhteyksiä ei ole käytettävissä.

Yksi merkittävimmistä mahdollisuuksista ihmisen ja koneiden yhteistyössä on tilannetietoisuuden parantuminen edelleen. Tämä on mahdollista varsinkin, jos voidaan yhdistää koneiden nopeasti tuottamat tiedot ja reagointikyky sekä ihmisen kokemus niin havainnoinnissa kuin tilanteiden tulkinnassa. Tällöin voidaan esimerkiksi parantaa ihmis-kone-ryhmän omasuojaa vastustajan ilma-lavettiuhkaa vastaan nopeammalla uhkien havainnoinnilla ja niihin reagoinnilla.

Toinen merkittävä mahdollisuus koneiden ja ihmisen yhteistoiminnassa on resurssien tehokkaampi käyttö. Miehittämättömiä älykkäitä lavetteja voidaan käyttää tehtävissä, jotka ovat vaarallisia, vaikeita tai yksitoikkoisia ihmisille. Näitä ovat esimerkiksi räjähteiden purku tai pitkään jatkuva samankaltainen tiedustelu- ja logistiikkatehtävä. Tällaisissa tehtävissä saadaan miehittämättömillä laveteilla jopa parempaa suorituskykyä kuin ihmisiltä. Samalla ihmiselle voidaan antaa vahvuuksiensa mukaisia rooleja, jotka on mahdollista toteuttaa toimimalla turvassa. Lisäksi yhteistyö miehittämättömien lavettien ja ihmisen välillä voi lisätä operaatioiden joustavuutta. Lavetit voivat toimia itsenäisesti tai yhdessä ihmisen kanssa, mikä mahdollistaa nopean reagoinnin erilaisiin tilanteisiin.

Kehittyvät viestintäteknologiat ja tekoälyn hyödyntäminen mahdollistavat entistä sujuvamman ja tehokkaamman yhteistyön koneiden ja ihmisten välillä. Puhe- ja eleohjaus, luonnollisen kielen käsittely ja generatiivinen tekoäly voivat tuoda uusia tapoja kommunikoida miehittämättömien lavettien kanssa. Tämä helpottaa niiden integrointia osaksi joukkojen normaalia toimintaa.

Yhteenveto

Koneiden rooli tulee kasvamaan sodankäynnissä, mutta myös ihminen tulee edelleen olemaan mukana toiminnassa. Teknologian kehitys tulee muuttamaan sekä koneiden että ihmisten rooleja. Koneiden kyvykkyys itsenäiseen toimintaan kehittyy koko ajan, mikä vaikuttaa myös koneen ja ihmisen yhteistoimintaan. Miehittämättömien laitteiden ja ihmisen toimiva yhteistyö edellyttää teknologian kehittymistä sekä miehittämättömien laitteiden että ihmisen ja koneen välisen kommunikoinnin osalta.

Toimivat ratkaisut parempaan koneiden ja ihmisten yhteistyöhön edellyttävät monialaista yhteistyötä käyttäjien, laitevalmistajien, ohjelmistokehittäjien ja muiden toimittajien välillä. Tässä yhteistyö yritysten ja puolustusvoimien kanssa on oleellista, samoin kuin yritysten välinen yhteistyö tutkimus- ja kehityshankkeis0sa.

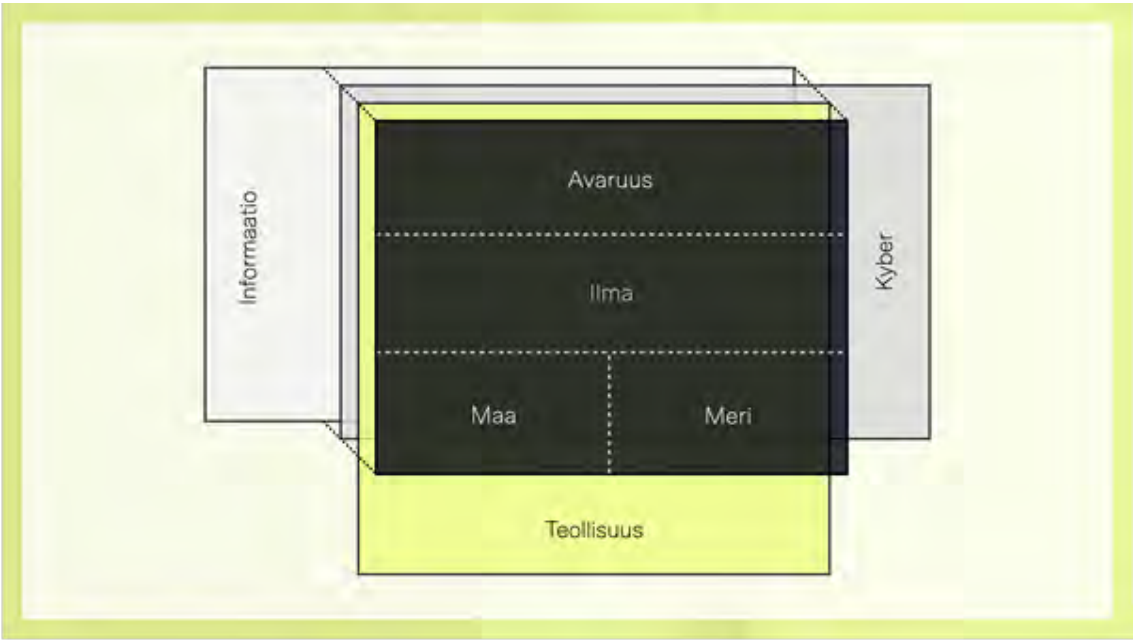
Koneiden sodan osatekijät

- Leo Heng -

Lehden teema “koneiden sota” on rohkea askel eteenpäin aikaisempien vuosien tekoälyteemasta. Koneiden sodasta puhuminen degeneroituu kuitenkin usein muutamassa minuutissa väittelyksi tappajaroboteista ja niihin liittyvistä eettisistä haasteista. Kyseinen aihe on ymmärrettävästi tunteita herättävä, eikä objektiivisen tiedon puute ainakaan edistä keskustelun pysymistä asialinjalla. Pyrin tässä artikkelissa sekä antamaan perusteet autonomisten teknologioiden sotilaallisen hyödyntämisen tarkastelemiseen kattavasti ja asiaperusteisesti että avaamaan muita teknologian käyttökohteita pelkkien autonomisten järjestelmien lisäksi tai niiden tukena.

Koneiden taistelukenttä

Kun tarkastellaan koneiden taistelukenttää, on syytä laajentaa ajattelua jo perinteiseksi käyneestä maa, meri, ilma ja avaruus -jaosta. Vaikka kansainvälisesti ei ole vielä vakiintunutta käytäntöä kyber- ja informaatioulottuvuuksille, koen itse mielekkääksi käsitellä niitä erillisinä: kyberulottuvuudessa tehdyt operaatiot vaikuttavat koneisiin, laitteisiin, kaapeleihin ja sähkömagneettiseen spektriin, kun taas informaatioulottuvuudessa vaikutukset tuntuvat ihmisten mielissä ja sydämissä. Näiden lisäksi Ukrainassa tapahtuvan sodankäynnin seurauksena on nostettu esiin seitsemättä ulottuvuutta, teollisuutta. Vaikka perinteisessä kulutussodankäynnissä teollisuuden rooli on ollut aikaisemminkin kiistämätön, erityisesti koneiden sota -kontekstissa sen käsitteleminen osana taistelukentän ulottuvuuksia on mielestäni erityisen perusteltua.



Perinteisten neljän fyysisen ulottuvuuden lisäksi taistelukenttä muodostuu kaikkialla vaikuttavista informaatio-, kyber- ja teollisuusulottuvuuksista.

Äärimmilleen viedyn koneiden sodan elementtinä teollisuuden innovointi- ja tuotantokyky on entistä merkittävämpi, koska se voi korvata jopa perinteistä henkilöstön määrään ja koulutukseen kohdistuvaa tarvetta. Jos koneita käytetään korvaamaan ihmistä taistelukentällä, teollisuuden kyky tuottaa kyseisiä laitteita vähentää tarvetta liikekannallepanoihin ja reservin osaamisen päivittämiseen.

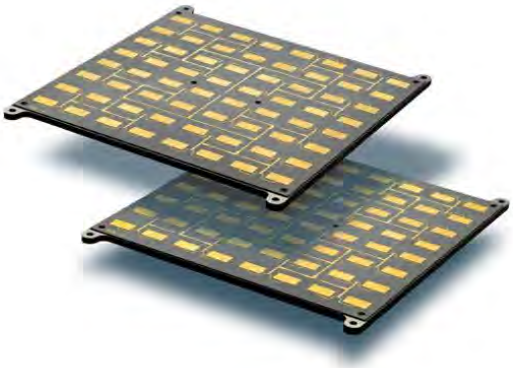
harp technologies ®

Harp Technologies Oy

Tarjoamme laadukkaita RF- ja mikroaaltotekniikan suunnittelu- ja tuotekehityspalveluja. Olemme luotettava kumppani T&K-hankkeissanne.

Tutkatekniikka, passiivisensorit, RF-etupäät, antennit, DSP-elektroniikka, jne.

Soveltuvuustutkimukset, EM-simulaatiot, komponentit, alijärjestelmät ja laitteet, myös vaativiin olosuhteisiin avaruus- ja puolustussektoreille.



Tekniikantie 12, 02150 Espoo
Puh. +358 50 300 2625
www.harptechnologies.com
contactharp@harptechnologies.com

Teollisuuden huomioiminen osana tätä yhtälöä asettaa tiettyjä vaatimuksia kriisitilanteisiin. Puolustusvoimien perinteinen tapa keskeyttää kehitystoiminta poikkeusoloissa ja siirtyä järjestelmien suhteen ylläpitomoodiin on auttamattomasti vanhentunut. Opit Ukrainasta päin vastoin korostavat sitä, että innovoinnin tulee olla jatkuvaa ja nopeaa, ja uusia suorituskykyjä tulee saada kentälle päivissä tai viikoissa. Tämä on mahdollista vain, jos puolustusvoimat toimii tiiviisti yhdessä teollisuuden kanssa. Tiedon vaihtamisen tulee olla kaksisuuntaista: puolustusvoimien täytyy jakaa ongelmia ja tarpeita teollisuudelle, ja teollisuuden tulee tuottaa niihin ratkaisuita. Parhaiten tämä toteutuu, jos teollisuuden edustajilla on pääsy etulinjaan sekä havainnoimaan syntyviä tilanteita että testaamaan työn alla olevia ratkaisuita todellisissa tilanteissa. Kun näin saadaan aikaiseksi käyttökelpoisia ratkaisuita, luonnollisesti myös hankinnan tulee olla virtaviivaistettua ja tarkoituksenmukaista.

Teollisuuden merkitys taistelukentän ulottuvuutena on siinäkin mielessä merkityksellinen, että parhaimmillaan - tai pahimmillaan - modernit järjestelmät luovat merkittävän asymmetrisen taloudellisen vaikutuksen sodankäyntiin. Jos pienellä parvella 1 000 € maksavia aseita pystytään säännönmukaisesti tuhoamaan 1 000 000 € maksavia asejärjestelmiä, on selvää, kumpi vaihdannan osapuoli jää resurssimielessä niskan päälle. Ukrainassa eri asejärjestelmien taloudelliset hyötysuhteet ovat vakiintuneet käyttötarkoituksen ja ominaisuuksien mukaan erilaisiin lukemiin: lyhyen kantaman dronekalustolla vaihdantasuhde on noin 500:1, pidemmän kantaman iskuihin kykenevillä 25:1 ja merikäytössä 20:1. Myös Venäjä on oppinut tämän taistelutavan, eikä NATO:n 3:1 etu puolustusmenoissa kestä tällaista laskentatapaa. Tämä tarkoittaa myös hyvin konkreettisesti sitä, että Suomella ei ole varaa lopettaa kehittämistä kriisitilanteessa.

Ne sotivat koneet

Kun taistelukentän keskeiset ulottuvuudet on kuvattu, on syytä tarkastella siellä toimivaa kalustoa, joista käytetään yleensä englanninkielistä termiä vehicle, ajoneuvo. Miehittämätön ajoneuvo liikkuu paikasta toiseen ilman, että sitä ohjaa kyydissä oleva ihminen, ja niissä on yleensä myös muita etäyhteydellä toimivia järjestelmiä.

Ajoneuvoa pienemmistä järjestelmistä käytetään usein termiä drone, vaikka termi ei olekaan varsinaisesti kokoon sidottu, eikä erotteluun ole selkeitä kokorajoja tai mitään teknistä perustetta. Ilman erillistä määritettä drone viittaa yleensä pieneen ilma-alukseen, muut toimintaympäristöt tarkennetaan määreellä (esim. sea drone, land drone tai underwater drone). Joskus tällaisia laitteita kutsutaan myös hieman virheellisesti roboteiksi, mistä lisää myöhemmin.

Kansainväliseen käyttöön on vakiintunut seuraavat termit:

- Unmanned Aerial Vehicle (UAV), miehittämätön ilma-alus
- Unmanned Ground Vehicle (UGV), miehittämätön ajoneuvo
- Unmanned Maritime Vehicle (UMV), miehittämätön alus, jonka voi jakaa myös alaryhmiin
- Uncrewed Surface Vessel (USV), miehittämätön pinta-alus
- Unmanned Underwater Vehicle (UUV), miehittämätön pinnanalainen alus

Erilaisten lentävien laitteiden menestys on mielestäni vienyt hieman tarpeettoman paljon huomiota maalla ja vedessä toimivilta alustoilta, mutta onneksi niillekin on löytynyt omat kehittäjänsä ja käyttäjänsä. Sovelluspotentiaalia molemmissa on valtavasti.

Miehittämättömyydestä autonomiaan

Termi “miehittämätön” viittaa vain siihen, että kalustossa itsessään ei ole miehistöä, mikä saattaa herättää hieman virheellisiä mielikuvia, koska useimmiten pienikin laite saattaa sitoa sen käyttämiseen useita henkilöitä. Jos puhuttaisiin kauko- tai etäkäyttöisestä (remotely operated) ajoneuvosta, ihmisen läsnäolo olisi tunnistettavissa nimityksestä. Artikkelin alussa mainittuun degeneroituvaan keskusteluun tämä liittyy siinä mielessä, että puhekielessä ja jopa mediassa mistä tahansa aseistetusta kauko-käyttöisestä ajoneuvosta lipsahdetaan usein käyttämään termiä tappajarobotti, vaikka järjestelmässä ei olisi minkäänlaisia autonomisia piirteitä. Kun sen operoiminen tapahtuu kokonaan ihmisen toimesta, tämä on hyvin harhaanjohtavaa.

Miehittämättömän järjestelmän operoimisessa on hyvä tunnistaa ero seuraavien eri vaihtoehtojen välillä:

Kaukokäyttöinen (tai etäkäyttöinen) järjestelmä: Täysin ihmisen hallinnassa oleva järjestelmä, jota käytetään etäyhteyden päästä. Myös kauko- tai etäohjattu järjestelmä.

Teleoperoitu järjestelmä: Harvemmin käytössä oleva termi, jolla pyritään tuomaan esiin tekninen ero käyttäjän omilla aisteilla operoimisen (kaukokäyttöinen) ja järjestelmän sensoreiden (kamera, paikannus, kompassi jne.) tarjoamia tietoja hyödyntäen tapahtuvan operoimisen (teleoperoitu) välinen ero.

Automatisoitu järjestelmä: Automatisoitu järjestelmä suorittaa etukäteen ohjelmoituja toimenpiteitä täysin ennustettavasti ilman tulkinnan mahdollisuutta. Perinteinen lentokoneen autopilotti on automatisoitu järjestelmä, joka toimii ilman ihmisen suoraa puuttumista niin pitkään kuin ohjelmointiparametrit sen sallivat. Asejärjestelmistä esimerkiksi pohjamiina on automatisoitu järjestelmä seismisen ja magneetti-sensorin sekä yliajolaskurin ansiosta.

Autonomisia piirteitä omaava järjestelmä: Yleensä kaukokäyttöinen järjestelmä, joka on varustettu sellaisilla kehittyneillä teknologioilla, jotka mahdollistavat toiminnan kokonaan ilman ihmistä tai vähäisellä ihmisen puuttumisella tietyissä ennalta määritellyissä tilanteissa. Kaukokäyttöisessä ajoneuvossa saattaa olla autonomisia piirteitä, jotka mahdollistavat sen itsenäisen navigoimisen haastavassa maastossa. Vastaavasti asejärjestelmässä saattaa olla autonomisia piirteitä, jotka mahdollistavat sen maalinvalinnan ennalta ohjelmoitujen parametrien mukaan. Viipyilevät tai vaanivat

ammukset (loitering munitions) täyttävät tämän määritelmän, kuten myös esimerkiksi laivojen omasuojajärjestelmät.

Autonominen järjestelmä: Autonomisen ja autonomisia piirteitä omaavan järjestelmän välinen rajanveto ei ole kaikissa tilanteissa täysin yksiselitteinen. Yleisesti ottaen autonomiset piirteet ovat lisänä pääasiassa kaukokäyttöisesti toimivassa järjestelmässä, kun taas autonominen järjestelmä toimii pääasiassa itsenäisesti tai vain minimaalisella ihmisen valvonnalla. Autonominen järjestelmä vaatii toimiakseen kehittyneitä sensoreita ja pitkälle vietyä päätöksenteon autonomiaa kyetäkseen toimimaan monimutkaisessa ympäristössä. Autonomiset järjestelmät pystyvät analysoimaan keräämäänsä tietoa ja suorittamaan sen perusteella tehtäviä. Tällaisia tehtäviä voi olla esimerkiksi navigoiminen, tiedon kerääminen tai suojaustehtävät. Arkisessa ympäristössä autonomisia järjestelmiä näkyy vielä harvoin, mutta autonomiset autot ovat odotuslistalla kärkipäässä. Autonomiset asejärjestelmät ansaitsevat oman syvemmän tarkastelunsa, niistä lisää myöhemmin tässä artikkelissa.

Ajoneuvo vai robotti?

"Robotti"-termi on monitulkintaisuudessaan haastava. Sillä voidaan kuvata mitä tahansa järjestelmää, joka on automatisoitu, autonomisilla piirteillä varustettu tai täysin autonominen, ja jonka toiminnallisuutta voidaan muuttaa ohjelmallisesti ja/tai muokkaamalla käytössä olevaa laitteistoa. Joissain määritelmissä tartutaan elävän olennon kaltaisuuteen, toisissa lasketaan mukaan myös kaukokäyttöinen toiminta, kolmas taas rakentuu kuljetustehtäviä monimutkaisemman toiminnallisuuden varaan erotuksena ajoneuvoista.

Yleisesti robotit kykenevät suorittamaan monimutkaisia toimintosarjoja ja niitä on suunniteltu lukuisiin erilaisiin käyttökohteisiin kuten teollinen valmistus, kirurgiset toimenpiteet, kuljetus, palveluiden tarjoaminen ja toimintaympäristön tutkiminen. Robotit voivat olla vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa sekä havainnoiden että manipuloiden sitä, ja ne pystyvät sopeutumaan erilaisiin tilanteisiin anturien ja ohjelmoitavien toimintojen avulla. Robotti ei kuitenkaan välttämättä pysty esimerkiksi liikkumaan itsenäisesti paikasta toiseen, vaan niiden kyky vuorovaikuttaa ympäristössä suunnitellaan käyttötarpeen mukaan.

Autonomiset asejärjestelmät

Autonomiset asejärjestelmät, Lethal Autonomous Weapon Systems (LAWS), viittaavat kehittyneisiin asejärjestelmiin, jotka pystyvät käynnistämisen jälkeen valitsemaan kohteensa itsenäisesti ja hyökkäämään niitä vastaan ilman suoraa ihmisen puuttumista tai valvontaa. Vaikka käsite LAWS on laajassa käytössä kansainvälisesti – ja niiden täyttä kieltoa vaaditaan monelta taholta – hieman yllättäen sille ei ole yleisesti hyväksyttyä määritelmää.

Tällä hetkellä paras tapa määritellä autonomiset asejärjestelmät pohjautuu seuraavaan jakoon:

- Human in the loop: Järjestelmä ei tee mitään itsenäisesti, vaan jokainen toimenpide tapahtuu ihmisen käynnistämänä.
- Human on the loop: Järjestelmä toimii rajatuissa määrin itsenäisesti, mutta ihminen valvoo sen toimintaa koko ajan, ja voi keskeyttää sen milloin vain.
- Human off the loop: Järjestelmässä ei ole minkäänlaista ihmisen valvontaa käynnistämisen jälkeen, vaan se toimii täysin autonomisesti.

Autonomiset asejärjestelmät (LAWS) ovat määritelmällisesti human off the loop -järjestelmiä.

Vuoden 2023 Uusi rauhanohjelma -julistuksessaan YK:n pääsihteeri António Guterres vetosi, että jäsenvaltiot a) sopivat vuoteen 2026 mennessä oikeudellisesti sitovasta sopimuksesta, joka kieltää sellaiset tappavat autonomiset asejärjestelmät, jotka toimivat ilman ihmisen hallintaa tai valvontaa ja joita ei voida käyttää kansainvälisen humanitaarisen oikeuden mukaisesti, sekä b) sääntelevät kaikkia muita autonomisia piirteitä omaavia asejärjestelmien tyyppejä. Hän totesi, että kansainvälisten pelisääntöjen puuttuessa näiden järjestelmien suunnittelu, kehitys ja käyttö herättävät humanitaarisia, oikeudellisia, turvallisuuteen liittyviä ja eettisiä huolenaiheita, ja muodostavat suoran uhan ihmisoikeuksille ja perusoikeuksille.

Autonomisten asejärjestelmien suunnittelun, kehityksen ja käytön täyskielto ei kuitenkaan ole todellisuudessa varteenotettava vaihtoehto useasta eri syystä:

Toisin kuin esimerkiksi ydinaseissa, autonomisten asejärjestelmien kehittäminen ei vaadi kovin merkittäviä resursseja. Kuka tahansa ohjelmointi- ja elektroniikkarakennustaitoinen pystyy toteuttamaan yksinkertaisen LAWS:in omassa autotallissaan. Tästä seuraa se, että ei-valtiollisilla toimijoilla, kuten terroristijärjestöillä, on täydet edellytykset niiden kehittämiseen. Harva terroristijärjestö noudattaa toiminnassaan kansainvälisiä humanitäärisiä sopimuksia.

Kansainvälisen oikeuden ulkopuolella toimivat valtiot, kuten esim. Pohjois-Korea tai Venäjä, tuskin näkevät mitään syytä allekirjoittaa täyskieltosopimusta. Sama koskee myös Yhdysvaltoja, jonka doktriineissa varataan kyky kehittää ja käyttää LAWS:ejä, mikäli toimintaympäristö sitä vaatii, eli käytännössä mikäli muut toimijat niitä valmistavat tai käyttävät. Kehitystoiminta tuskin käynnistetään vasta, kun ensimmäinen LAWS tulee taistelukentillä vastaan, joten on oletettavaa, että tällaisten asejärjestelmien suunnittelu on jo käynnissä.

Kansainvälistä oikeutta noudattavien turvallisuustoimijoiden tulee säilyttää kyky suojata väestöä tunnettuja uhkia vastaan. LAWS:ejä vastaan suojautuminen edellyttää niiden sovelluskohteiden ja suorituskyvyn tuntemista, mikä ei ole mahdollista ilman ainakin jonkinlaista kehitys- ja tutkimustoimintaa. Vastaava lähestymistapa on käytössä kemiallisia ja biologisia aseita vastaan suojautumisessa.

Kansainvälinen säätely tulisi ohjata järjestelmien käytön aikaiseen valvontaan, testaamiseen ja kehittämisen juridisten ja eettisten periaatteiden varmistamiseen. Lisäksi on syytä pitää mielessä, että oikein hyödynnettynä autonomiset asejärjestelmät voivat myös vähentää ihmishenkiin kohdistuvaa vaaraa, tarpeettomia oheisvahinkoja ja silmittömiä väärinkäytöksiä.

Muut vaikuttamisen keinot

Vaikka sodankäynnin näkyvin ulottuvuus on taistelukentällä toimivat koneet ja joukot, pitää se sisällään paljon muutakin. Teknologianäkökulmasta strategiset ja operationaaliset kyvykkyydet syntyvät autonomisten järjestelmien ja robotiikan lisäksi tiedon keräykseen ja käsittelyyn liittyvistä ratkaisuista, toimitusketjujen ja toiminnan tehokkuuden optimoimisesta, kyber- ja informaatiosodankäynnin kyvykkyyksistä, sekä ihmisen ja koneen välisen vuorovaikutuksen ja ihmisen suorituskyvyn kehittämisestä.

Suorituskykyä tai kilpailukykyä taistelukentällä voi hahmottaa esimerkiksi päätöksenteossa paljon käytetyn OODA Loopin (Observe, Orient, Decide and Act, suomeksi esim. havainnoi, arvioi, päätä ja toimi -kehä) tai F2T2EA-prosessin (Find, Fix, Track, Target, Engage and Assess, suomeksi esim. löydä, lukitse, seuraa, maalita, vaikuta ja arvioi) mukaan. Molemmissa näissä on yhteistä se, että mitä aikaisemmassa vaiheessa omaa toimintaa voi tehostaa (tai vihollisen toimintaa estää), sitä suuremmat vaikutukset sillä on lopputulokseen. Näin yksittäisillä asejärjestelmillä on loppujen lopuksi rajallinen vaikutus tulokseen, kun taas vastustajan toiminnan paljastaminen ja ymmärtäminen antaa paljon suuremmat vaikuttamisen mahdollisuudet. Sama pätee myös esimerkiksi logistiikkaan: varustetut, huolletut ja toimintakykyiset joukot kykenevät tyypillisesti yksinkertaisillakin aseilla tehokkaampaan toimintaan kuin huoltamattomat joukot suorituskykyisillä aseilla ilman riittäviä ampumatarvikkeita.

Näitä periaatteita noudattaen pidän keskeisen tärkeänä, että puolustusjärjestelmän kehittämisessä huomioidaan teknologian sovelluskohteiden koko kirjo pelkkien asejärjestelmien lisäksi. Samalla teknologisesta kehityksestä tulee jokaisen upseerin työn kannalta merkittävä asia. Kuvassa 2 esitellyn työkalun sovelluskohdelistoja voi käyttää muistilistana oman organisaation toimintaa arvioidessa tai omia kehityskohteita suunniteltaessa. Jos haluat kehittää esimerkiksi operatiivista nopeutta, millä kaikilla listatuista sovelluskohteista siihen voi vaikuttaa? ’

Olen suunnitellut tämän työkalun nimenomaan puolustus- ja turvallisuusviranomaisten käyttöön ja tarjoan mielelläni sekä tukea että opastusta sen hyödyntämisessä.

Leo Heng (leo.heng@reaktor.com) on ohjelmistoyhtiö Reaktorin puolustus- ja turvallisuusyksikön strategiajohtaja. Työssään hän perehtyy kansainvälisen turvallisuus-ympäristön kehitykseen, kehityksen vaikutuksiin turvallisuusviranomaisten tehtäviin ja niissä onnistumiseen, sekä teknologisen kehityksen sovellusmahdollisuuksiin edellisten haasteiden ratkaisemiseksi.

Kuva 2: Tekoälyn ja muiden kehittyneiden teknologioiden sovelluskohteet, joita voidaan hyödyntää strategisten ja operationaalisten suorituskykyjen kehittämiseen. Autonomiset järjestelmät ovat vain yksi pieni osa tätä kokonaisuutta

SitaWare
Suite
50+
SitaWare user
nations

35+
years' experience
delivering defence
digitalisation

#1
Supplier of
C4ISR to NATO
SYSTEMATIC
www.sitaware.com

Sotilasdroonit puolustusteollisuuden insinöörien silmälasein

Jarkko Tikka ja Kari Renko

Tässä artikkelissa esitetään muutamia huomioita sotilaskäyttöön tarkoitetuista miehittämättömistä järjestelmistä puolustusteollisuusyrityksen näkökulmasta. Ohjaavana piirteenä on järjestelmän suorituskyvyn yksittäistä lavettia suurempi merkitys, mikä on kyettävä realisoimaan oikeassa toimintaympäristössä. Toisaalta suorituskyky edellyttää myös tuotteistamisen ja elinkelpoisen valmistus- ja ylläpitokyvyn osin erittäin nopeasti kehittyvässä segmentissä.

Esimerkki droonista, kuvaaja Isto Järvinen

Droonista

Erilaisten miehittämättömien järjestelmien käyttö sotilastarkoituksiin on laajentunut lyhyessä ajassa merkittävästi ja järjestelmien kirjo on ainakin näennäisesti suuri. Joskin lukumäärä laskee nopeasti, mikäli tarkasteluun otetaan vain tuotannossa ja käytössä olevat sekä testikappaleita lukuisammat järjestelmät. Jatkuva uusien tuotteiden ilmaantuminen pitää yllä mielikuvaa lähes räjähdysmäisesti kaikkialla kasvavasta markkinasta, missä on melko paljon illuusiota akuutteihin kriiseihin liittyvien operaatioiden ulkopuolella.

Käsiteltäessä ilmassa liikkuvia miehittämättömiä järjestelmiä, on termi drooni vakiintunut arkikieleen. Yleensä sillä tarkoitetaan multikoptereita, mutta ajoittain myös huomattavasti suurempia luokkaa 100 kg massaisia ilma-aluksia. Tyypillisesti droonilla on vähintään automaattisia toimintoja, kuten reitin navigointi. Tyypillisesti drooniin mielletty autonomia tarkoittaa käytännössä vain automaattisten

toimintojen, kuten lentoreitin jatkamisen ja sensoritietoon perustuvan lentoreitin muuttamisen sallimista ilman ihmisen kontrollia. Hyvin usein drooni-termiä käytetään lavettikeskeisesti, eikä koko järjestelmää käsittäväksi.

Järjestelmä tuottaa suorituskykyä

Erityisesti Ukrainassa on pienten droonien käyttö laajaa saatuaan alkunsa sodan välttämättömyydestä: kun jotain teknologiaa on ollut saatavilla, sitä on sovellettu ja kokemuksesta on opittu. Etenkin nopeassa, iteratiivisessa oppimisessa ukrainalaiset ovat olleet hyvin taitavia ja ketteriä, mikä johtanee muuallakin tulevissa hankinnoissa suoriin vaatimuksiin järjestelmien nopealle kehityskyvylle ja ylläpidettävyydelle muuttuvassa toimintaympäristössä.

Ketterästä yksittäisestä droonista ja taistelijasta tulisi useimmiten pyrkiä järjestelmäratkaisuihin, joissa droonit ja muutkin miehittämättömät järjestelmät integroidaan osaksi puolustusjärjestelmää. Tämä edellyttää verkottuvaa kommunikaatioratkaisua ja tilannekuva- sekä johtamisjärjestelmää. Verkottumisen myötä korostuvat uhat ja vaatimukset kyberturvallisuudelle sekä järjestelmätason kyky toimia häirinnän vaikutuksien alaisena. Järjestelmätason näkökulma tuo mukaan myös logistiikan aina käyttöpaikasta valmistavaan ja kehittävään teollisuuteen. Järjestelmätasoa ei kuitenkaan tule käsittää homogeenisena yhden lavettimallin ja maa-aseman toteutuksena, vaan heterogeenisena miehittämättömistä järjestelmän komponenteista koottuna, samassa johtamis- ja tilannekuvaympäristössä toimivana suorituskykynä.

Toimintaympäristö

Vahvasti tiettyyn toimintaympäristöön kehitetty tuote voi olla lähes käyttökelvoton erityyppisessä ympäristössä tai käyttötilanteessa. Maailmalla valmiina olevat miehittämättömät järjestelmät on pääosin kehitetty keskisen Euroopan tai Yhdysvaltojen olosuhteisiin ottamatta juurikaan huomioon Suomen arktisen toimintaympäristön erityispiirteitä ja niistä johtuvia vaatimuksia.

Arktinen toimintaympäristö tarkoittaa muutakin kuin ilmeistä talvea sekä lunta ja jäätä. Suomessa metsäinen maasto rajoittaa viesti-, sensori- ja asejärjestelmien tehollista kantamaa ja käyttökelpoisia pystykulmia voimakkaasti. Tekoälypohjaiset hahmontunnistusalgoritmit on yleensä opetettu käyttäen dataa, joka ei toimi suomalaisessa maastossa. Varsinkaan lumen vaikutuksia ei ole huomioitu. Samalla pitkä hämärän & pimeän aika heikentää sensoritiedon saatavuutta ylipäätään ja laatua.

Pohjoisilla leveysasteilla sekä pohjoisnapa että magneettinen napa ovat lähellä vaikeuttaen navigoinnin tarvitseman paikka- ja suuntatiedon tuottamista. Geostationaariset kommunikaatiosatelliitit näkyvät matalammalla horisontin yllä ja niiden signaalit ovat heikkotehoisempia kuin Keski- ja Etelä-Euroopassa. Magneettinavan läheisyys vaikuttaa ilmakehän ionosfäärikerroksen kautta viesti- ja satelliittipaikannusjärjestelmien toimintakykyyn.

Tekoäly

Droonien sotilaskäytössä hyödynnetään yleisesti erilaisia tekoälypohjaisia osajärjestelmiä etenkin erilaisissa sensoridatasta tehtävissä hahmontunnistustehtävissä. Suomi on sitoutunut tekoälyn vastuulliseen käyttöön sotilassovelluksissa (Political Declaration on Responsible Military Use of Artificial Intelligence and Autonomy, 9.11.2023, https://www.state.gov/political-declaration-on-responsible-military-use-of-artificial-intelligence-and-autonomy-2/), missä edellytetään mm., että tekoälypohjaiset sotilassovellukset kehitetään ja niitä käytetään vastuullisesti sekä kansainvälisiä sodankäynnin sääntöjä noudattaen. Käytännössä tämä luo vaatimuksia suunnitteluprosessille, jolta edellytetään hyvää ja verifioitavaa toteutusta tunnistettujen vaatimusten ja käyttötapausten täyttämiseksi kehitettävälle tekoälylle.

Tuotteistaminen Suomessa ja Suomeen

Suomessa on reservilaisarmeija ja siihen kouluttavat varusmiespalvelus sekä kertausharjoitukset. Reserviläisarmeijan koulutustaso on hyvä, joskin heterogeeninen. Käytettävien välineiden on oltava sen vuoksi valtaosin verraten helppokäyttöisiä ja robusteja sekä riittävän tehokkaita ja turvallisia. On järkevää, että puolustustarvikkeista tehdään sopivia jo normaalioloissa, eikä jätetä asioita poikkeusoloissa ”säveltämisen” varaan. Vaikkakin tämä jäykistää ja hidastaa tekemistä verrattuna Ukrainan kriisin

mielikuvaan viikoissa muutamalla sadalla eurolla syntyvistä drooneista.

Tuotteistaminen ja tuotteiden integrointi osaksi puolustusjärjestelmää edellyttää teollisia toimijoita, joilla on työhön riittävä osaaminen ja resurssit. Osaaminen tarkoittaa paitsi tietoa tuotteen ja puolustusjärjestelmän teknisisistä ratkaisuista, myös kokemusta ja osaamista sotilasalan määräyksistä ja standardeista. Merkitystään on nostanut etenkin yhteentoimivuuden (interoperability) tuottaminen, eivätkä räjähde- ja ilmailumääräykset ole kadonneet minnekään.

Miehittämättömissä järjestelmissä käytetään paljon kaksikäyttöteknologiaa, jota kehitetään siviiliyrityksissä ja eri kokoisten yritysten muodostamissa ekosysteemeissä. Tämä edellyttää puolustusteollisuusyrityksiltä opettelua siitä, miten ekosysteemien kanssa toimitaan ja miten siviilipuolella kehitettyä teknologiaa siirretään sotilassovelluksiin. Selvää hiertymää aiheuttaa puolustusteollisuuden tyypillisesti pitkä aikajana ja todennäköisesti itse opittu menettely salata asioita jonkin verran todellista tarvetta laajemmin. Yhteistyötä mahdollistetaan ja opetellaan mm. Digital Defence Ecosystem – DDE (https://www.digitaldefence.fi/) ja eAlliance (https://www.patriagroup.com/newsroom/news/2024/patrian-vetama-ealliance-hanke-rakentaa-ainutlaatuista-siviili-ja-puolustusteknologia-yritysten-yhteistyota) -hankkeissa.

Huoltovarmuudesta

Erityisesti pienten, usein aseistettujen FPV-droonien1 kulutus on Ukrainassa ollut suurta: esitettyjen arvioiden mukaan Ukraina kulutti vuonna 2023 noin 10 000 droonia kuukaudessa (Royal United Services Institute, RUSI). Suomelle pienten droonien varastointi poikkeusoloja varten ei ole järkevää suurina lukumäärinä. Droonien häirintään käytettävät ELSO-menetelmät kehittyvät jatkuvasti ja varastoitujen droonien ominaisuudet vanhenisivat monilta osin nopeasti. Fyysisistä komponenteista todennäköisesti akut ja tiedonsiirtoratkaisu vanhenevat nopeimmin. Ohjelmistollinen toteutus on toki välittömästi vastustajalle tiedusteltavissa ensikäytön jälkeen.

Tämän vuoksi on varastoinnin sijaan järjestettävä droonien valmistus- ja kehityskyky poikkeusoloissa. Näennäisesti yksinkertaisesta ratkaisusta päädytään nopeasti haasteisiin osaamisen ja valmistusvolyymin ylläpidon, komponenttien saatavuuden turvaamisen ja järjestelmien jatkuvan kehittämisvalmiuden osalta. Nämä eivät Suomessa ole niinkään teknologisen osaamiseen tai tuotantokykyyn liittyviä ongelmia, vaan teollisuustaloudellinen tehtävä: alihankintaverkoston, osaamisen ja toimitusketjun hallintakysymys yrityksille taloudellisesti mielekkäällä tavalla.

[1] First Person View, toiminta, jossa droonia ohjataan näköyhteyden sijasta videolinkin kautta droonin lentosuuntaan otetulla reaaliaikaisella videokuvalla, jolloin droonin lennättäjä kokee olevansa droonin kyydissä lentokoneen ohjaajan tapaan.

NORTHCOM
A LEADING NORDIC SUPPLIER OF SOLUTIONS FOR CRITICAL COMMUNICATION
A WIDE SELECTION OF PRODUCTS FOR SAFETY AND PREPAREDNESS
IRIDIUM
Iridium®-satelliittipuhelimet
MAAILMANLAAJUINEN - Ainoa verkko, joka tarjoaa 100 % kattavuuden, myös napa-alueilla.
MISSION CRITICAL - Tarjoaa yhteyden myös silloin, kun maainfrastruktuuri on vaarantunut tai sitä ei ole olemassa.
iridium
ICOM
ICOM on valmistanut radiopuhelimia jo vuodesta 1953 alkaen ja sen tuotteet ovat tunnettuja hyvästä laadustaan. Radioita käytetään organisaatioissa kaikkialla maailmassa.
ICOM
SEPURA & DAMM
SEPURA - Luotettu TETRA-viestintää yleisen turvallisuuden ja kaupallisten organisaatioiden toimesta ympäri maailmaa.
DAMM - TETRA-tukiasemajärjestelmä on markkinoiden helpoin ja edullisin TETRA-tekniikkaan perustuva radiopuhelinjärjestelmä.
sepura
DAMM
VALKYRJE BY NORTHCOM
KAAPELIKYTKETTY DRONE
• Jopa 24 tuntia keskeytymätöntä lentoaikaa
• Korkealaatuinen kamera 30x optinen zoom
Voidaan varustaa seuraavilla:
• Lämpökamera
• TETRA repeater/Gateway
• LTE/5G tukisasema
VALKYRJE
NORTHCOM
WHEN COMMUNICATION MATTERS
Kriittisen viestinnän laite- ja ratkaisutoimittaja. Lisätietoja northcom.fi

Taktinen tiedonsiirto osana autonomista järjestelmää

- Tutkimuspäällikkö Ari Hulkkonen, Bittium -

Puheviestintä on ollut ja tulee olemaan keskeinen osa taktista tiedonsiirtoa. Mitä dynaamisempi tilanne, sitä enemmän puheviestinnän merkitys korostuu. Nykyaikainen sodankäynti vaatii kuitenkin nopeaa tilannekuvan muodostamista ja sen välittämistä, mikä edellyttää tiedonsiirtojärjestelmiltä kykyä laajakaistaiseen tiedonsiirtoon. Langattomat tiedonsiirtojärjestelmät ovat alttiita elektronisen sodankäynnin uhkille, kuten häirinnälle, ja kun taktisia järjestelmiä verkotetaan kaupallisten järjestelmien, kuten 4G tai 5G, kanssa, korostuvat myös niihin kohdistuvat kyberuhkat. Tiedonsiirtojärjestelmään vaikuttavat vaatimukset ovat siis usein hyvin ristiriitaisia; tarvitaan pitkää kantamaa, mikä edellyttää kapeakaistaista tiedonsiirtoa ja matalaa lähetystaajuutta, mutta samalla vaaditaan esimerkiksi reaaliaikavideokuvan siirtoa. Vaatimukset vielä laajenevat, kun otetaan käyttöön autonomisia maalla, merellä ja ilmassa toimivia järjestelmiä.

Autonomiset järjestelmät tuovat mukanaan uusia haasteita, mutta toisaalta mahdollistavat taktisen tiedonsiirron kannalta myös uusia kyvykkyyksiä. Tällä hetkellä Ukrainassa käynnissä oleva sota on osoittanut, että taistelussa on edelleen kyse suuressa määrin perinteisestä asevaikutuksesta. Ukrainan sota on kuitenkin näyttänyt, että edullisilla, jopa suoraan kaupan hyllyltä saatavilla lennokeilla pystytään tuhoamaan vastustajan kalustoa ja joukkoja. Toiminta edellyttää reaaliaikaista ja häiriötöntä langatonta tiedonsiirtoa, mutta on selvää, että kaupallinen teknologia sellaisenaan toimii taistelukentän olosuhteissa vain rajallisesti, sillä sen toiminta on tunnettua ja siten sen häirintä suhteellisen helppoa. Mitä pidemmälle kriisit etenevät, sitä tehokkaammin vastatoimet purevat, ellei kehitystä tapahdu. Häirintä kaventaa miehittämättömien alusten käyttökelpoista toiminta-aluetta, ja pian ollaan tilanteessa, jossa operaattorin on jalkauduttava

lähes vihollisen keskelle pystyäkseen operoimaan miehittämättömiä aluksiaan.

Manuaalinen kauko-ohjaus näköyhteydellä tai videokuvan avulla (FPV, First Person View) on kuitenkin vain askel kohti autonomiaa. Pidemmällä tähtäimellä autonomian tason kasvaessa voidaan saavuttaa tilanne, jossa miehittämättömät alukset toimivat parvena, jolle annetaan lähtiessä tehtävä, ja jonka parvi itsenäisesti toimien toteuttaa. Tällöin tiedonsiirto voi rajoittua parven sisäiseen lyhyen kantaman laajakaistaiseen viestintään, ja mahdollisesti siinä rinnalla hitaaseen aika ajoin muodostettavaan datayhteyteen parven ja johtamisjärjestelmän välille esimerkiksi paikka- ja statustiedon välittämiseksi, tai yhteyttä ei ole lainkaan. Toinen ääritapaus on ”muulit”, jotka seuraavat ryhmää kuljettaen taisteluvarusteita ja muuta kalustoa. Tarvittava tiedonsiirtokyvykkyys vastaa yksinkertaista kauko-ohjattavan lelun tiedonsiirtoa, jonka kantama on muutamia metrejä. Jos tiedonsiirto-järjestelmän on kuitenkin kyettävä tukemaan kaikkia mahdollisia skenaarioita, ovat myös siihen kohdistuvat vaatimukset monipuolisia, ja kuten todettu, osin ristiriitaisiakin.

Lisää suorituskykyä Järjestelmäintegraatiosta

Tilannekuvan välittäminen suoraan taistelu-kentältä ilmakuvien ja reaaliaikaisen videon avulla tuo merkittävää lisäarvoa taistelun johtamiseen verrattuna tilanteeseen, jossa tieto tulee viiveellä ja se perustuu maassa raskaan epäsuoran tulen vaikutuksen alla toimivien joukkojen ilmoituksiin. Tilannetiedon, kuten droonien ohjaukseen käytetyn videokuvan, välittäminen johtoportaaseen edellyttää, että miehittämättömät järjestelmät on integroitu taktiseen tiedonsiirto- ja johtamisjärjestelmään. Mikäli aluksen kyky kuljettaa hyötykuormaa on riittävä, voidaan siihen asentaa erilaisia sensoreja tuottamaan informaatiota, joka välitetään taktisen tiedonsiirtoverkon kautta taistelunjohdolle. Tiedonsiirtoon käytettävä laite voi myös välittää verkon liikennettä toimien ikään kuin releasemana. Haasteena on, että erityisesti pienet droonit eivät pysty kantamaan raskasta hyötykuormaa varsinkin, jos ne on jo lastattu täyteen aseita.

Pienten lavettien rajallinen kyky kantaa hyötykuormaa korostaa teknologiakonvergenssia, joka tarkoittaa, että esimerkiksi tiedonsiirtolaitteisiin integroidaan elektronisen sodankäynnin (ELSO) ominaisuuksia. Tällöin sama tiedonsiirtoon tarkoitettu ohjelmistoradio (SDR, Software Defined Radio) kykenee sekä tuottamaan tilannekuvaa, kuten havaitsemaan häirintää tai muita vastustajan radiosignaaleja, paikantamaan niitä sekä välittämään tilannekuvatiedon verkkoon lähes reaaliajassa. Täysi integraatio mahdollistaa myös sen, että miehittämättömien alusten ohjaamiseen käytettävä tiedonsiirtoyhteys hyödyntää taistelukentän olosuhteisiin suunnitellun taktisen tiedonsiirto-järjestelmän LPD/LPI/AJ-ominaisuuksia (Low Probability of Detection/Low Probability of Intercept/Antijamming), kuten taajuushypintää, kognitiivista spektrin käyttöä sekä erilaisia häiriönpoistomenetelmiä.

Verkkoon integroituja miehittämättömiä aluksia voidaan hyödyntää MANET-tiedon--siirtoverkon solmuina, jotka välittävät verkon liikennettä solmujen välillä pidentäen saavutettavaa yhteysetäisyyttä sekä tiedonsiirtonopeutta huomattavasti. Erityisesti ilmassa toimivat solmut ovat tähän hyvin soveltuvia, mutta myös alttiimpia häirinnälle, mikäli ne eivät toimi maaston tuottamassa katveessa vastustajan ELSO-järjestelmiin nähden. Toisaalta puuston yläpuolella toimittaessa saavutetaan näköyhteys omien solmujen välillä (LOS, Line of Sight), jolloin voidaan käyttää korkeampia taajuuksia, mikä mahdollistaa suunta-antennien käytön. Suunta-antennit tarjoavat sekä paremman häiriönsietokyvyn, pienemmän emission vastustajan suuntaan sekä suuremman vahvistuksen ympärisäteileviin antenneihin verrattuna, mikä parantaa suorituskykyä merkittävästi. LOS-yhteys mahdollistaa myös pienemmän lähetystehon käytön, mikä pienentää erityisesti maa-asemien havaittavuutta.

ruuvi

Suomalaista mittaustarkkuutta

RuuviTag Pro -anturilla mittaat ja valvot langattomasti ***lämpötilaa, ilmankosteutta ja liikettä****. Laite lähettää tiedot puhelimen Ruuvi-sovellukseen Bluetooth-kantaman sisällä. Jos haluat monitoroida täysin etänä, pääset käsiksi mittaustuloksiin verkon yli Ruuvi Gateway -Wi-Fi/Ethernet-reitittimen avulla.*

Kätevät hälytykset!

Sopii erityisesti:

- *Varastoille ja työtiloihin*
- *Koneiden, rakennusten ja kodin kunnossapitoon*

Kestävä ja luotettava:

- *Jopa 2 vuoden paristonkesto**
- *Käyttölämpötila: -40 °C ... +85 °C*
- *Vesitiiveys: IP67 (IP68 & IP69K mallissa 2in1)*
- *Valmistettu Suomessa*

* *Riippuu käyttölämpötilasta*

RuuviTag Pro 3in1

49,90 €

Tutustumistarjous!

-10% Alennus kaikista tuotteista, koodilla: **upseeri10**

Etu on voimassa 1 kk lehden julkaisusta.
Syötä alennuskoodi "upseeri10" verkkokauppamme kassalla osoitteessa: **ruuvi.com**

Tietoturvamerkki

Kysy lisää: **044 910 4727** | sales@ruuvi.com

Ruuvi Innovations Oy, Riihimäki

Bittium Tough SDR Handheld -radio osana miehittämättömän ajoneuvon tiedonsiirtoratkaisua demonstraatiossa (kuva: Bittium)

Suomi ja Puolustusvoimat mukana eurooppalaisessa kehitystyössä

Autonomisia järjestelmiä, niiden tarvitsemaa teknologiaa, sekä operatiivisia konsepteja kehitetään luonnollisesti useissa maissa itsenäisesti. Näistä hankkeista ei välttämättä ole tietoa saatavilla. Euroopassa on useita yhteisiä hankkeita, joissa autonomisia järjestelmiä ja niiden suorituskykyjä, niin maalla, merellä kuin ilmassakin, on kehitetty ja tullaan kehittämään jatkossakin. Eurooppalaista puolustusyhteistyötä tukeva Euroopan unionin pysyvä rakenteellinen yhteistyö (PESCO, Permanent Structured Cooperation) käynnisti hankkeen miehittämättömän maajärjestelmän (UGS, Unmanned Ground System) kehittämiseksi. Hankkeen tavoitteena oli kehittää järjestelmää, joka tukee joukkojen ja miehittämättömän järjestelmän yhteistoimintaa (MUM-T, Man-UnManned-Teaming) sekä miehittämättömien järjestelmien yhteistoimintaa, esimerkiksi maa-ilma-ulottuvuuksissa. Järjestelmän tuli tukea toimintaa taistelukentällä, mutta ei varsinaisesti osallistua tulenkäyttöön. Järjestelmän tuli kyetä toimimaan ELSO-vaikutuksen alla sekä tarjota riittävä kybersuojaus. Hanke otti merkittävän askeleen eteenpäin, kun Euroopan puolustusrahaston (EDF, European Defence Fund) esivaiheen, Euroopan puolustusteollisen kehittämisohjelman (EDIDP, European Defence Industry Development Program) puitteissa toteutettiin vuosien 2020–2023 aikana MUGS--.projekti (Multipurpose Unmanned Ground System). Projektissa, joka tunnetaan nimellä iMUGS (Integrated Modular Unmanned Ground System), koordinaattorina ja hankkeen vetäjänä toimi virolainen Milrem Robotics, ja Viron puolustusministeriö koordinoi osallistuvien maiden toimintaa. Hankkeeseen osallistui-

vat Viron lisäksi Suomi, Latvia, Saksa, Belgia, Ranska ja Espanja. Suomesta hankkeeseen osallistuivat Insta ja Bittium, joka vastasi järjestelmän tiedonsiirtoratkaisusta.

kykenevät seuraamaan vasta-asemien liikettä. Lisäksi antennikeilojen ohjaus on synkronoitu lähetteeseen, mikä mahdollistaa täyden MANET-verkottumisen, mutta tarjoaa perinteisesti vain kiinteissä linkeissä hyödynnettyjen

Elektronisesti ohjattavalla suunta-antenniratkaisulla voidaan yhdistää MANET-verkottumisen ja kiinteiden suunta-antennien edut (kuva: Bittium)

Hybridiverkottuminen ja teknologiakonvergenssi

iMUGS-projektissa tiedonsiirrossa sovellettiin Bittiumin kehittämää hybridiverkottumisen konseptia, jossa taktiseen johtamisjärjestelmään ja sen taktiseen tiedonsiirtoon integroidaan mahdollisuus hyödyntää kaupallisia mobiiliverkkoja tai muita yhteyksiä niin, että käyttäjät voivat liittyä järjestelmän palveluihin esimerkiksi matkapuhelimilla. Lisäksi kehitettiin elektronisesti ohjattavien antennien käytön mahdollistavaa toiminnallisuutta, joka integroitiin Bittium TAC WIN -aaltomuotoon.

Suunta-antenneja käyttävät verkon solmut löytävät vasta-asemat itsenäisesti sekä

suunta-antennien edut. Järjestelmään kehitettiin ja integroitiin myös ELSO-ominaisuuksia, jotka mahdollistavat spektrin monitoroinnin ja analysoinnin tiedonsiirtoverkon avulla normaalin tiedonsiirron rinnalla sen häiriintymättä. ELSO-pakettiin kuului myös kognitiivinen spektrin käyttö, jossa verkon solmut kykenivät analysoimaan käytettäviä radiotaajuuksia sekä hyödyntämään niitä optimaalisesti sen mukaan, mikä tilanne kunkin solmun osalta kullakin hetkellä vallitsi. Häiriöiden vaikuttaessa eri solmuihin eri tavalla, ne saattoivat toteuttaa spektrin käytön toisistaan poikkeavalla tavalla, mutta kykenivät silti kommunikoimaan normaalisti. Toteutettu kognitiivinen spektrin käyttö ei myöskään vaikuttanut oleellisesti verkosta ulospäin näkyvään emissioon, joten häirinnän vaikutusta verkkoon ei pystynyt verkon emissioista päättelemään.

Teoriasta käytäntöön

iMUGS-projekti järjesti yhteensä seitsemän demonstraatiotapahtumaa, yksi kussakin osallistuvassa maassa. Kunkin tapahtuman pääteema painotti järjestävän maan osallistujien kehittämiä ratkaisuja, ja jokaiseen demonstraatioon tuotiin mukaan uusia teknisiä ratkaisuja. Suomen demonstraatio toteutettiin maaliskuussa 2022 Kajaanissa Kainuun prikaatin tuella, jota PESUUNNOS ja PVTUTKL koordinoivat. Demonstraation tavoitteena oli havainnollistaa autonomisen järjestelmän toimintaa arktisissa olosuhteissa, sekä langatonta verkottumista. Tapahtumapaikkana toimi Kassunkurun ampuma-alue, sekä läheisen Hoikanportin ampumaradan paviljonki, joka demonstraatiossa esitti komentokeskusta.

Toimintaa varten toteutettiin taktinen tiedonsiirtoverkko, johon kuului kolme runkoverkon solmua (kaksi kiinteää, yksi ajoneuvo), jotka varustettiin elektronisesti ohjattavilla antenneilla (SBA, Switched Beam Antenna), kaksi miehittämätöntä maa-ajoneuvoa (UGV, Unmanned Ground Vehicle) eli tässä tapauksessa lavettia, kannettava UGV-kauko-ohjauslaite, drooni, sekä yksi solmu verkon toiminnan seuraamista varten. UGV-lavetit käyttivät ympärisäteileviä antenneja. Tiedonsiirtojärjestelmään integroitiin myös mahdollisuus hyödyntää yhteyksiin kaupallista mobiiliverkkoa taktisen verkon kuuluvuusalueen ulkopuolella, sekä mahdollisuus liittyä verkon palveluihin ESSOR-aaltomuotoa (European Secure SOftware defined Radio) käyttävillä radioilla.

Yksi iMUGS-projektin demonstraatioista toteutettiin Kainuun prikaatin alueella yhteistyössä Puolustusvoimien kanssa (kuva: Bittium)

Demonstraatiossa mallinnettiin skenaariota, jossa miehittämätön lavetti lähetettiin tiedustelutehtävään useiden kilometrien päähän. Toiminta-alueelle siirtyi perässä myös tiedusteluryhmä tukiajoneuvolla, joka hinasi paikalle toisen UGV-laveteista. Tilanteen kehittyessä ja vastustajan uhatessa joukkoa, lavetit myöhemmin suojasivat tiedustelujoukon vetäytymistä. Komentokeskukseen välitettiin tiedonsiirtoverkon yli toiminta-alueelta reaaliaikaista videokuvaa tiedusteluun lavettien lisäksi käytetystä droonista. Lisäksi näytöillä nähtiin taistelunjohto- ja verkonhallinta-järjestelmien tuottamaa tilannekuvaa. Demonstraatiosta tehty video on nähtävillä Bittiumin Youtube-kanavalla (https://bit.ly/imugs).

Kehitystyö jatkuu

Bittium Tough SDR Vehicular -radio osana miehittämättömän ajoneuvon tiedonsiirto-ratkaisua demonstraatiossa (kuva: Bittium)

Projekti huipentui joulukuussa 2022 Saksassa Bundeswehrin eli Saksan puolustusvoimien harjoitusalueella Potsdam-Mittelmarkissa järjestettyyn demonstraatiotapahtumaan. Tapahtuma havainnollisti autonomisen järjestelmän ja joukkojen yhteistoimintana toteutettua hyökkäystä, jossa UGV-lavetit suorittivat parvena tiedustelun, suojasivat joukkojen toimintaa sekä evakuoivat haavoittuneita. Tiedonsiirtoverkko yhdisti sekä lavetit että ohjaus- ja taistelunjohtojärjestelmän mahdollistaen tilannekuvan jakamisen sekä parven keskitetyn hallinnan ja sen liikkeiden seuraamisen.

Tiedonsiirron osalta merkittävin ja näkyvin uusi elementti oli elektronisesti ohjatut suunta-antennit, joita nyt hyödynnettiin myös ketterästi liikkuvissa miehittämättömissä ajoneuvoissa staattisten runkoverkon solmujen lisäksi. NATO-IV-taajuusalueen ja suunta-antennien rinnalla käytettiin lisäksi matalampia taajuuksia ja ympärisäteileviä antenneja, mikä lisäsi järjestelmään redundanssia sekä tarvittaessa kantamaa peitteisessä maastossa.

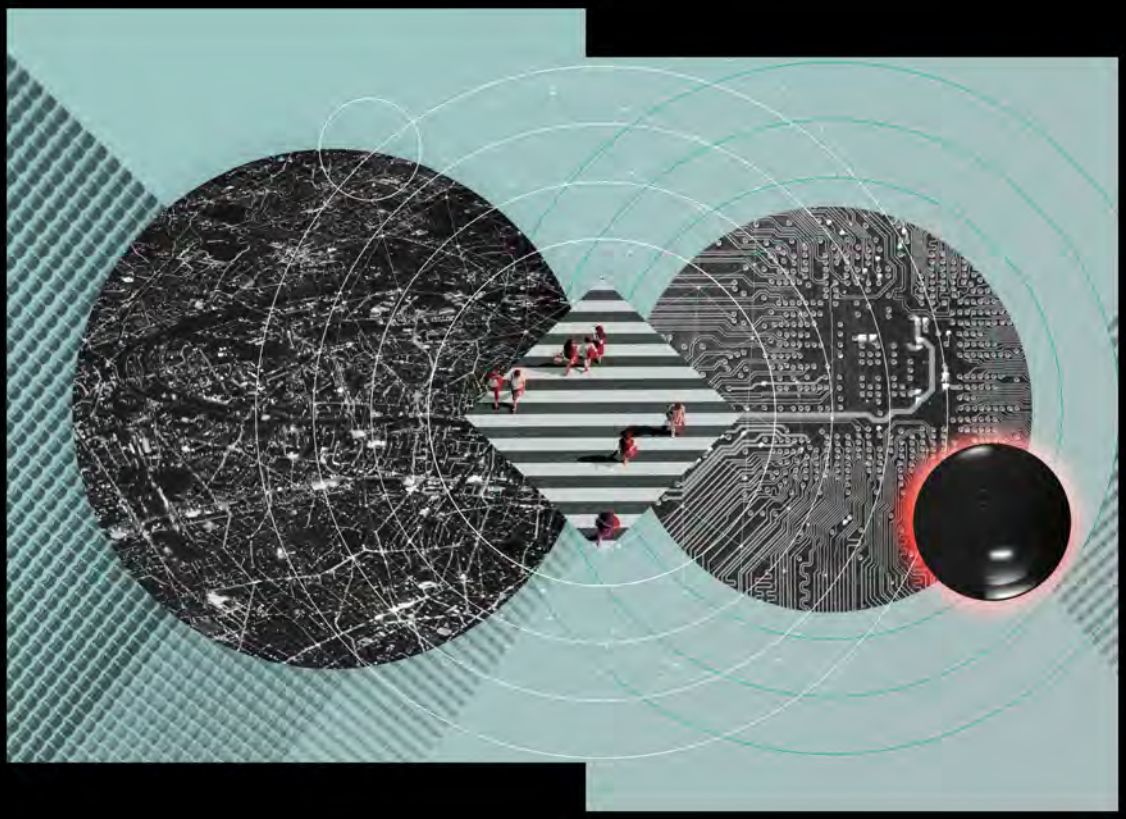
Keväällä 2023 päättyneessä iMUGS-projektissa saavutettiin erittäin hyviä ja merkittäviä tiedonsiirtoon liittyviä tuloksia, joita on edelleen jatkokehitetty ja hyödynnetty uusissa hankkeissa. Kaikki kehitystyö on tapahtunut Bittiumin tuotealustoja (SDR-laitteet, aaltomuodot) hyödyntäen niin, että tulosten integrointi asiakkaiden järjestelmiin on mahdollista ilman merkittävää uutta tuotekehitystä. Kehitettyjä ominaisuuksia on kenttätestattu ja demonstroitu hyvällä menestyksellä. Esimerkkinä voidaan mainita Bittium Tough SDR -radioihin integroitu kyvykkyys havaita ja paikantaa esimerkiksi drooneja niiden tuottaman radiotaajuisen emission perusteella. Tuloksia on myös hyödynnetty uusissa projekteissa, kuten Euroopan puolustusviraston (EDA, European Defence Agency) CUGS-hanke (Combat Unmanned Ground Systems), joka ikään kuin jatkaa iMUGS-projektia, mutta jossa uutena elementtinä mukaan on tuotu vaikuttaminen, eli asejärjestelmien integraatio. iMUGS-projektissa kehitettyä kognitiivista spektrinkäytön menetelmää on tarkoitus puolestaan jatkokehittää EDA:n SHABAM-projektin puitteissa. Suomi on myös mukana EDF-2024-ohjelman puitteissa toteutettavan Multipurpose Unmanned Ground Systems -projektin valmistelussa. Projekti kehittää edelleen autonomisen maajärjestelmän tarvitsemia kyvykkyyksiä ja teknologiaa, ja painottaa erityisesti operatiivisia seikkoja sekä joukkojen ja miehittämättömän järjestelmän yhteistoimintaa.

Asejärjestelmien integraatio on mukana useissa tulevissa hankkeissa, sillä autonomisten järjestelmien hyödyntäminen taistelukentällä ei tule rajoittumaan vain kaluston kuljettamiseen tai tiedusteluun, kuten Ukrainan sota on osoittanut karulla tavalla. Eurooppalaisen ja länsimaisen ajattelutavan vuoksi tämä luo kuitenkin uusia haasteita niin järjestelmien operatiiviseen käyttöön kuin myös teknisesti esimerkiksi tiedonsiirron osalle. Niin kauan, kun pidetään kiinni ”man-in-the-loop”-periaatteesta, eli ihminen antaa lopullisen käskyn vaikuttaa juuri ennen laukaisuhetkeä tai halutaan pystyä perumaan vaikuttamiskäsky jopa ammuksen ollessa jo matkalla, tarvitaan erittäin luotettava tapa siirtää tietoa langattomasti reaaliajassa, ajasta ja paikasta riippumatta.

Create the information advantage

We create solutions for handling data faster and more efficiently. Having the correct information at the right place and time gives you the edge in making decisions.

Our solutions focus on supercharging the process of gathering, storing, processing, analyzing, and distributing data and creating capability multipliers by using AI to enhance information. Being better informed and faster than your adversary will give you the upper hand in a contested environment.



Reaktor Defence & Security

reaktor.com/defsec

Aonomiset järjestelmät tulevaisuuden taistelukentällä: edut, sovellukset ja tutkimushaasteet

Petteri Alinikula ja Jouko Kinnari, Saab Finland Oy

Johdanto

Moderni sodankäynti on muutoksessa, kuten käy ilmi käynnissä olevasta sodasta Ukrainassa. Droonit hallitsevat taistelukenttää toimimalla monenlaisissa ympäristöissä: ilmassa, maalla sekä meren pinnalla ja alla. Tykistön ja droonien vertailu korostaa taistelustrategian muutosta, jossa ketteryys, tarkkuus ja kustannustehokkuus määrittävät yhä enemmän operatiivista menestystä.

Tulevaisuudessa autonomiset järjestelmät mahdollistavat uusia suorituskykyjä sekä merkittäviä parannuksia nykyisiin järjestelmiin. Autonomia mm. tehostaa ja parantaa droonien suorituskykyä, muuttaa taisteluhävittäjien pilotin roolin lentämisestä tehtävän suorittamiseen sekä mahdollistaa pitkäkestoisen sodankäynnin merenpohjassa. Samalla nämä uudet suorituskyvyt mahdollistuvat huomattavan kustannustehokkaasti. Autonomiset järjestelmät ovat merkittävä voimankäytön tehostaja (force multiplier) tulevaisuuden taistelukentillä. Atikkelissa käsitellään autonomisten järjestelmien keskeisimpiä käyttötapauksia. Lisäksi artikkelissa pohditaan autonomisten järjestelmien haasteita ja esitellään paikannus yhtenä keskeisenä tutkimusalueena. Keskustelun keskiössä ovat autonomiset järjestelmät ja alustat; eettiset kysymykset on jätetty tämän artikkelin ulkopuolelle.

Tulevaisuuden taistelukenttä

Tulevaisuuden taistelukenttä on monimutkainen ympäristö, jolle on ominaista eri puolustushaarojen yhteistoiminta: maa-, ilma-, meri-, avaruus- ja kyberalueet yhdistyvät saumattomasti. Sotilaalliset suorituskyvyt perustuvat pienempiin ja ketterämpiin yksiköihin perinteisten suurten alustoiden sijaan. Muutoksen mahdollistajina ovat kehittyneet johtamisjärjestelmät sisältäen reaaliaikaisen tiedonkäsittelyn ja laajakaistaiset luotettavat tietoliikenneyhteydet digitalisoidulla taistelukentällä. Sodankäynnin tempo nopeutuu, mikä vaatii sekunnin murto-osissa tehtäviä taktisia päätöksiä.

Miehittämättömät autonomiset järjestelmät muuttavat sodankäyntiä ilmassa, maalla sekä meren pinnalla ja alla. Autonomisista järjestelmistä tulee olennaisia osia sekä taistelun tiedustelu-, valvonta- ja tarkkailuoperaatioissa että varsinaisissa iskuissa vihollisen asemiin.

Suorituskykyjä ja niiden vastatoimia kehitetään yhä nopeammassa tahdissa. Kyky innovoida ja soveltaa siviili-innovaatioita esimerkiksi tekoälyssä, langattomassa teknologiassa ja robotiikassa tulee olemaan ratkaisevan tärkeää.

Kriittisten mikroelektroniikkakomponenttien ja tekoälyalgoritmien saatavuuden varmistamisesta tulee ratkaiseva strateginen etu uusien suorituskykyjen nopeassa käyttöönotossa.

Uudet teknologiat tuovat mukanaan haavoittuvuuksia, erityisesti kyberuhkia, jotka voivat vaarantaa uusien järjestelmien operatiivisen tehokkuuden.

Autonomisten järjestelmien edut tulevaisuuden taistelukentillä

Autonomisten järjestelmien integrointi sotilasoperaatioihin tuo mukanaan merkittäviä etuja. Käyttämällä miehittämättömiä alustoja erilaisissa tehtävissä, kuten tiedustelussa tai taistelussa, voidaan toimia vihamielisissä ympäristöissä ilman, että sotilaat ovat välittömässä

vaarassa. Autonomisten järjestelmien toimiminen etäisissä tai haastavissa maastoissa laajentaa sotatoimien operatiivista ulottuvuutta.

Autonomian taso	Ihmisen osallistuminen	Autonomisen järjestelmän toimintavalta
5. Autonominen	Ihminen ei saa tietoa toiminnasta.	Toiminnalle on myönnetty lupa toimia.
4. Valvottu	Ihminen saa tietoa toiminnasta, mutta ei voi tai halua vuorovaikuttaa.	Toiminnalle on myönnetty lupa toimia ja se ilmoittaa ihmiselle aikomuksistaan ja toimistaan.
3. Delegoitu	Ihminen saa tietoa toiminnasta ja voi vuorovaikuttaa halutessaan.	Toiminnalle on myönnetty lupa toimia. Ihminen voi muuttaa tätä toimintaa.
2. Ohjattu	Ihminen päättää, mitä toiminnan tulee tehdä ja saa tietoa toiminnasta.	Toiminnalle ei ole myönnetty lupaa toimia. Se voi ilmoittaa ihmiselle aikomuksistaan.
1. Ohjattu	Ihminen on ainoa päätöksentekijä. Toiminta on kauko-ohjattua.	Ei toimintaa.
0. Täysin manuaalinen	Ihminen on paikalla ja hänellä on suora fyysinen kontrolli.	Ei toimintaa.

Taulukko 1. Autonomian tasot.

Autonomiset järjestelmät nopeuttavat ja tehostavat operatiivista toimintaa, jota voidaan kuvata niin sanotulla HTPT-silmukalla (Havainnointi - Tilanteenarviointi - Päätös – Toiminta). Järjestelmien kyky jatkuvaan tiedonkeruuseen vahvistaa tiedustelu-, valvonta- ja tarkkailutoimintaa, mikä johtaa parempaan tilannetietoisuuteen ja paremmin perusteltuihin päätöksiin. Lisäksi järjestelmillä on kyky mukautua reaaliaikaisiin taistelukentän muutoksiin, mikä antaa taktisen edun reagoida kehittyviin uhkiin.

Autonomisten järjestelmien ominaisuudet ja haasteet

Termillä "autonominen agentti" viitataan ohjelmistoon, joka ohjaa liikkuvuuden ja tehtävien suorittamisen kannalta tarvittavia sensoreita ja laitteita kuljettavaa alustaa. Autonominen agentti suunnittelee ja suorittaa monimutkaisia toimintoja rajoitetulla ihmisen osallistumisella. Ihmisen osallistumisen määrä ja päätösvallan delegointi tarjoavat yhden tavan luokitella erilaisia autonomian tasoja ja käsitellä niihin liittyviä tutkimushaasteita. European Defense Agencyn "Safety and Regulations for European Unmanned Maritime Systems" -projektin määrittelemä luokitus on esitetty Taulukossa 1.

Ihmisen osallistuminen autonomian tasoilla 0-4 vaatii tietoliikenneyhteyttä suoritettavan tehtävän aikana. Tietoliikenneyhteys asettaa rajoituksia järjestelmän toimintaetäisyydelle sekä tekee autonomisesta agentista alttiin elektronisen sodankäynnin toimenpiteille. Radioyhteyksien säteily mahdollistaa autonomisen alustan ja operaattorin havaitsemisen ja paikantamisen.

Autonomisten järjestelmien toteutuksessa on useita merkittäviä tutkimushaasteita. Näitä ovat mm. tietoliikenneyhteyden matala herkkyys häirinnälle, vaikea havaittavuus, riittävä tiedonsiirtonopeus sekä hyvin pieni viive agenttien ohjaamiseen. Autonomisen agentin tilan esittäminen ihmiselle ymmärrettävästi ilman huomattavaa kognitiivista kuormitusta on myös merkittävä tutkimushaaste.

RBS 70 NG

Muuttaa uhat maaleiksi

Nykyajan joukot ovat riippuvaisia ase- ja puolustusjärjestelmiensä tarkkuudesta ja monipuolisuudesta.

RBS 70 -ilmatorjuntaohjusjärjestelmillä on yli 20 käyttäjää eri puolilla maailmaa. Se on operatiivisesti testattu ja soveltuu kaikkiin sääoloihin, arktisesta kylmyydestä aavikon kuumuuteen. Suomen puolustusvoimissa järjestelmä tunnetaan nimellä ITO05 ja ITO05M.

Uusi RBS 70 NG integroidulla 24/7 -monimaalikyvyllä, on kehitetty vastaamaan vaativimpien taistelutilanteiden haasteisiin. Ampujan integroidut tähtäys ja laukaisuapujärjestelmät, kuten automaattinen maalin-seuranta ja näköyhteys maaliin, vievät sen tarkkuuden huippuunsa.

RBS 70 NG tarjoaa maassa toimiville joukoille ilmatorjuntasuorituskykyä, jolle ei maailmasta löydy vertaista.

Lue lisää osoitteessa www.saab.fi

Seuraa meitä Twitterissä ja Facebookissa: @SaabFI.

SAAB

Yksinkertaisimmillaan autonominen agentti koostuu sensoreista, suunnittelufunktiosta ja toiminnasta [1]. Sensorit tuottavat tietoa ympäristöstä. Tekoälyalgoritmeilla, esimerkiksi syväoppimisella, sensorien tuottama tieto jalostetaan informaatioksi, jonka avulla suunnittelufunktio ohjaa varsinaista agentin toimintaa. Toiminta koostuu alustan ohjauksesta sekä varsinaisista tehtävistä. Sensoriteknologioihin liittyy monia tutkimushaasteita. Näitä ovat esimerkiksi radiotaajuisten sensorien, signaalitiedusteluvastaanottimien ja tutkien, miniatyrisointi pieniin autonomisiin drooneihin sopiviksi, älykkäät havainnointialgoritmit sekä optisiin ja radiotaajuisiin sensoreihin perustuvat paikannusalgoritmit. Vedenalaisissa autonomisissa järjestelmissä radiotaajuiset järjestelmät toimivat huonosti ja yleensä tietoliikenne ja navigaatio perustuvat hydroakustiikkaan.

Sotilaallisessa ympäristössä agentin toteuttaminen on haastavaa, sillä vastustaja pyrkii tietoisesti hämäämään ja häiritsemään agentin toimintaa. Sodankäynnistä tulee algoritmien taistelua, jota voidaan mallittaa mm. peliteorian keinoin. Agenttien yhteistoiminta tuo autonomisille järjestelmille vielä lisäulottuvuuden. Autonomisten järjestelmien suunnittelu on edelleen aktiivinen tutkimusalue

Käyttötapaus 1. autonomiset droonit tiedustelu-, valvonta-, havainto ja taistelutehtävissä

Ukrainan taistelukentillä droonit ovat keskeisessä roolissa tiedustelu-, valvonta- ja havaintotehtävissä keräten elintärkeää tietoa vihollisen liikkuvuudesta, maastosta ja taktisesta tilanteesta. Droonien keräämään dataan perustuva tarkka tilannekuva mahdollistaa perustellut päätökset. Drooneja käytetään myös kohdentamiseen ja varsinaisiin iskuihin vihollisen asemiin. Operaatioiden tehokkuutta heikentää vastapuolen ohjaussignaaleihin kohdistama häirintätoiminta.

Autonomiset droonit edustavat merkittävää kehitystä sekä tiedustelu-, valvonta- ja havaintotehtävissä että taistelukyvykkyydessä. Kehittyneet algoritmit mahdollistavat droonien itsenäisen kyvyn tunnistaa ja seurata kohteita sekä koordinoida iskuja huomattavalla tarkkuudella. Tämä myös vähentää missiossa mukana olevien ihmisten kognitiivista kuormitusta vapauttaen heidät keskittymään taktisiin ja strategisiin tavoitteisiin. Lisäksi droonit voivat mukauttaa toimintaansa vastaamaan vastatoimiin parantaen sitkeyttä häirintää vastaan ja lisäten tehtävän onnistumisen todennäköisyyttä. Tällöin autonomisten droonien integrointi sotilaallisiin operaatioihin parantaa laaja-alaisesti tehokkuutta nykyaikaisissa taistelutilanteissa.

Käyttötapaus 2: taisteluhävittäjien tehtävän autonomia (mission autonomy)

Modernien taisteluhävittäjien osalta autonomian lupaus ei ole vain lentokoneen ohjaamisessa, vaan tehokkaassa tehtävien hallinnassa. Tässä yhteydessä käytetään termiä tehtävän autonomia (mission autonomy), jolla korostetaan kokonaisvaltaista tehtävien hallintaa pelkkien lentotoimintojen sijaan.

Tehtävän autonomialla pyritään parantamaan tehokkuutta haastavissa toimintaympäristöissä, joita kuvaavat suuri epävarmuus ja nopeasti muuttuvat olosuhteet. Keskeistä on autonomisten järjestelmien hyvä yhteistoiminta operaattoreina tai pilotteina toimivien ihmisten kanssa. Tehtävän onnistuminen ei riipu vain materiaalisesta ylivoimasta tai perinteisistä suorituskykymittareista, vaan myös kyvystä harhauttaa vihollinen. Operaattorien on käsiteltävä nopeasti valtavia määriä usein puutteellista ja monimutkaista tietoa ja tehdä sen pohjalta nopeita ja perusteltuja päätöksiä, jotka yllättävät vihollisen. Tässä autonomiset toiminnot lisäävät tehokkuutta. Samalla pyritään vähentämään lentäjien kognitiivista kuormitusta ja mahdollistamaan heidän keskittyminen korkeamman tason tavoitteisiin. Toimiva ihmisen ja autonomisten järjestelmien yhteispeli on keskeinen menestystekijä nostamaan mission menestyksen todennäköisyyttä. Tämä toteutuu parhaiten dynaamisella resurssien ja tehtävien allokoinnilla.

Huolimatta merkittävistä saavutettavista hyödyistä tehtävän autonomian toteutuksessa

on monia ratkaisemattomia haasteita. Tällaisia ovat mm. menetelmien luotettavuuteen ja ymmärrettävyyteen liittyvät kysymykset sekä raskaiden algoritmien pyörittämiseen liittyvät laitteisto- ja prosessointitehoon liittyvät rajoitukset [3]. Lisäksi autonomisten teknologioiden käyttöönottoon liittyvät eettiset kysymykset lisäävät monimutkaisuutta niiden integroimisessa. Haastavaa on myös autonomisten algoritmien opettaminen puutteellisella tiedolla. Opetusdataa on heikosti saatavilla kuvaamaan vastustajan toimintaa harvoin esiintyvissä taistelutilanteissa. Autonomiaa ohjaavien algoritmien toiminnan luotettavuus on keskeisin päämäärä matkalla kohti tehtävän autonomiaa. Luotettavuutta voidaan kasvattaa kouluttamalla operaattoreita ja algoritmeja ympäristöissä, joissa simuloinnit ja todellinen toiminta yhdistetään, ns. Live, Virtual, Constructive (LVC) -ympäristöissä.

Käyttötapaus 3: sodankäynti merenpohjassa

Sodankäynnillä merenpohjassa viitataan vedenalaisiin suorituskykyihin, joiden avulla ylläpidetään jatkuvaa sotilaallista läsnäoloa ja vaikutusvaltaa merellisissä ympäristöissä. Vedenalaisten alueiden strategisen merkityksen kasvaessa sodankäynti merenpohjassa on tullut keskiöön laivaston suorituskyvyn parantamisessa ja elintärkeiden merenalaisten kohteiden kuten tietoliikennekaapelien turvaamisessa. Vedenalainen ympäristö on luonteeltaan erittäin haastava, sillä navigointi ja kommunikaatio ovat selkeästi vaikeampaa kuin maanpinnalla tai ilmassa. Tämän lisäksi laitteiden energiansaannin varmistamiseen tarvittavan infrastruktuurin rakentaminen on hankalaa ja kallista.

Autonomiset järjestelmät ovat keskeisessä roolissa mahdollistamassa merenpohjan sotilaallisia suorituskykyjä. Vedenalaisessa ympäristössä autonomiset vedenalaiset ajoneuvot (AUV) voivat toimia pidempiä aikoja suorittaen tiedustelu- ja valvontatehtäviä ilman operoivaa ihmistä. Autonominen sodankäynti merenpohjassa on luonteeltaan pitkäkestoista. Tällöin on tärkeää luoda normeja ja käytäntöjä, joilla vältetään väärinkäsityksiä ja tahattomia yhteenottoja. Pitkäkestoisen merenpohjan sodankäynnin teknologioissa on vielä paljon innovaatiomahdollisuuksia.

Keskeisiä innovaatioalueita ovat navigointi, kommunikointi, energiansaannin varmistaminen sekä kyky toimia salassa vedenalaisessa ympäristössä. Esimerkkitapaus tutkimushaasteista: paikannus Paikannuskyky, eli kyky määrittää oma sijainti suhteessa ympäristöön tunnetussa koordinaatistossa, on eräs liikkuvien autonomisten järjestelmien perustoiminnallisuuksista. Yleisimmin tähän käytetään satelliittipaikannusjärjestelmiä (GNSS, Global Navigation Satellite System). Satelliittipaikannusjärjestelmien heikkous on niiden alttius häirinnälle (jamming) ja signaalin väärentämiselle (spoofing) ja pitkittyneen suurvaltakriisin tapauksessa myös itse satelliitti-infrastruktuuriin saattaa kohdistua hyökkäyksiä. Näistä syistä aktiivisen tutkimuksen alla on menetelmiä, joilla paikannuskyky voitaisiin tuottaa ilman riippuvuutta satelliittipaikannusjärjestelmistä.

Eräs yleisimmistä tällaisista menetelmistä on maaston seuranta sopivia sensoreitaa käyttäen. Näitä menetelmiä on kehitetty vuosikymmeniä, mutta tutkimusalueessa on edelleen hyvin perustavanlaatuisia haasteita, joille ei tunneta kaikissa olosuhteissa, suurella tarkkuudella toimivaa ratkaisua. Sensoreina voidaan käyttää esimerkiksi elektro-optisia järjestelmiä, yleisimmin näkyvän valon ja infrapuna-alueen aallonpituusalueilla toimivia kameroita. Ne ovat edullisia, pienikokoisia, kuluttavat vähän energiaa ja eivät lähetä itse säteilyä, jonka vastapuoli voisi havaita. Elektro-optisten sensorien käyttämisellä on haittapuolensa, esimerkiksi näkyvän aallonpituusalueen kameraa ei voida käyttää pimeällä, ja infrapunakameroiden kyky erottaa piirteitä maastossa on rajoittunut olosuhteissa, joissa maasto on kauttaaltaan lähes samassa lämpötilassa (esimerkiksi rankkasateen jälkeen). Mikäli hyväksytään, että liikkuva autonominen järjestelmä saa lähettää säteilyä, voidaan käyttää tutkaa tai laserkeilausta.

Maaston seurantaan perustuvien paikannusjärjestelmien merkittävin haaste on

se, miten liikkuvan alustan tekemiä mittauksia lähiympäristöstä voidaan käyttää vastaavan paikan etsimiseen kartalta. Kuvaperustaisten menetelmien yleisimmin käytetty ratkaisu on tunnistaa kamerakuvasta piirteitä, jotka ovat havaittavissa myös sopivassa karttadatassa (esimerkiksi ortokuvassa). Näihin menetelmiin liittyy muutamia haasteita. Ensinnä, kohteet näyttävät erilaiselta eri suunnista kuvattuna. Niinpä esimerkiksi maan tasolla liikkuvan alustan tunnistamat piirteet näyttävät hyvin erilaiselta kuin ortokuvassa. Toiseksi, maasto muuttuu valaistusolosuhteiden, sään, vuodenajan ym. tekijöiden vaikutuksesta. Kolmanneksi, ympäristö, jossa alusta liikkuu, saattaa olla visuaalisilta piirteiltään hyvin epäainutlaatuinen, eri eli alueet saattavat näyttää hyvin samanlaisilta. Neljäs keskeinen tutkimushaaste on se, miten toteutetaan kyky etsiä liikkuvan alustan paikka erittäin suurelta hakualueelta, mikäli alusta syystä tai toisesta menettää paikkatietonsa tehtävän aikana. Näiden menetelmien toteuttaminen siten, että järjestelmä tuottaa tarkan paikkaestimaatin, konvergoituu nopeasti oikeaan paikkaestimaattiin, ja algoritmi on toteutettavissa rajallisella energia- ja laskentakapasiteetilla, on lisähaaste pienikokoisissa autonomisissa järjestelmissä.

Lähteessä [4] esitetään menetelmä, jolla opetetaan neuroverkko tuottamaan piirrevektoreita UAV:n kuvasta ja karttakuvasta mahdollistaen erittäin nopean paikkahypoteesien vahvistamisen tai hylkäämisen. Tällöin tuloksena on laskennallisesti tehokas paikantaminen suuren alueen yli ilman tietoa aloituspaikasta ja -orientaatiosta. Esimerkkitapaus menetelmän käytöstä on esitetty kuvassa 1.

Yhteenveto

Artikkeli käsittelee autonomisten järjestelmiä osana muuttuvaa sodankäyntiä. Autonomiset droonit ja muut miehittämättömät alustat mullistavat taistelustrategiat tarjoamalla ketteryyttä, tarkkuutta ja kustannustehokkuutta.

Tulevaisuudessa nämä järjestelmät mahdollistavat uusia operatiivisia kykyjä, kuten entistä selvästi tehokkaammat droonien suorittamat tiedustelu- ja taistelutehtävät, taisteluhävittäjien tehtävien autonomian sekä pitkän aikavälin sodankäynnin merenpohjassa. Suorituskykyjen toteuttamisessa on edelleen monia ratkaisemattomia tutkimushaasteita. Yksi keskeinen haaste on paikantaminen kriisitilanteessa, kun satelliittipohjainen paikannus ei ole käytettävissä. Erittäin nopea kyky innovaatioiden ja uusien teknologioiden käyttöönottoon tulee olemaan keskeinen osa tulevaisuuden sodankäyntiä. Tiedustelu-, valvonta- havainto- ja taistelutehtävissä käytettävät autonomiset järjestelmät tulevat olemaan tärkeitä voimankäytön tehostajia tulevaisuuden sodankäynnissä.

(a) (b) (c)

Kuva 1. Visualisaatio miehittämättömän lentoaluksen paikantamisesta suhteessa karttakuvaan. (a) Droonin kamerakuva, (b) ortokuva toiminta-alueesta, (c) todennäköisyysjakauma mahdollisesta sijainnista kartalla kuvaan perustuvan paikannusalgoritmin perusteella, etsinnän ollessa kesken. Keltainen väri vastaa korkeaa todennäköisyyttä. Punainen merkki osoittaa droonin todellisen sijainnin. Ortokuva © Mbaanmittauslaitos, algoritmi esitelty lähteessä [4].

Lähteet

1. Murphy, R. R. (2019). Introduction to AI robotics. MIT press.

2. Albrecht, S. V., Christianos, F., & Schäfer, L. (2024). Multi-Agent Reinforcement Learning: Foundations and Modern Approaches. MIT Press. https://www.marl-book.com

3. Alejandro Barredo Arrieta et al. Explainable

Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI, Information Fusion, Volume 58, 2020, Pages 82-115, ISSN 1566-2535, https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012.

4. Kinnari, J. (2024). Infrastructureless unmanned aerial vehicle localization. Aalto University.

War of Machines – A Rheinmetall Canada Perspective

Robotics and Autonomous Systems (RAS) are changing the future of the battlefield forever. Recent conflicts have shown the impact that these systems have at all levels. Starting with the infantry soldier who now has increased situational awareness and an increased engagement range with organic lethal effectors, through to the higher echelons where decisions can be reached more quickly, with more information and more effectors at the commander's disposal. Robotics and autonomous systems are showing their versatility and effectiveness already, but this is just the beginning, warfare is evolving.

War with Machines – What is the Purpose

Machines on the battlefield must enhance a soldier's work, making it easier for them to complete their duties either through assistance on completing said task or by removing the soldier from dull, dirty and dangerous duties. We are not about to see humans replaced with robots as we see in Hollywood films but we are already seeing soldiers being supplemented by machines in both the physical and virtual domains.

The OODA (Observe, Orient, Decide, Act) loop provides us with a basic process of war. It is commonly said that those who work through the OODA loop the quickest, with the correct information and effectors available to them will win the war. OODA loop speed can be something that modern Armies can find difficult due to size, information sharing between nations and differing rules of engagement within an operational area. Machines can provide assistance at every stage of the OODA loop, increasing the probability of winning and overmatching the enemy.

1. Observe. RAS can provide affordable real time situational awareness to all levels of the command chain 24 hours per day. This can range from camera feeds on an Uncrewed Aerial System (UAS) through to detailed RADAR pictures from an Uncrewed Ground System (UGS) and everything in-between. The goal here is to push the

Detect, Recognise, Identify (DRI) ranges further than the enemy can see

2. Orientate. Software algorithms can provide assistance to commanders at all levels to help make decisions. Software can classify, prioritise and display data from multiple feeds in fractions of a second, allowing the commander to focus their energy on the next stage.

3. Decide. This stage is traditionally human centric whereby the human commander takes account of the information provided and makes an informed decision based on the rules of engagement, threat profile and the effectors available to them. Software can provide assistance throughout this, however assurance of this information still requires a human.

4. Act. Machines provide greater firepower at all levels from loitering munitions that offer effects at great range to area suppression precision strikes from UGS deployed at unit level. The goal here is for machines to make first contact, providing attrition of the enemy before any soldiers enter the fight directly. The US Army is very clear that machines should engage first, protecting human life and maximising the human skill set of decision making - “We will never again trade blood for first contact” (Gen James Rainey, US Army).

Human fatigue is an ever-present factor in war, ranging from physical tiredness of the soldiers on the ground to mental exhaustion of commanders trying to process data and make effective decisions. Machines are able to

supplement war fighters at all levels, providing opportunities to reduce fatigue and optimise the time taken to work through the OODA loop.

Machines can bring new capabilities forward or allow deeper capability at a lower level. One-way attack aircraft or loitering munitions are a great example of this concept as they have brought precision firepower at greater reach down from a Battlegroup asset to a platoon level capability. UAS have also brought significant ISR capabilities down to unit level and in a similar fashion, commanders on the ground now have the ability to see real time information to speed up their decision making abilities.

Forward Line of Robots

Practically speaking, how does NATO and its allies employ machine warfare on the battlefield? The United States Army have proposed the concept of a Forward Line of Robotics (FLOR), which would be the first line of attack or defence before any human, became directly involved. This concept, linked closely to General Rainey's quote provides standoff between the soldier and the enemy, provides space and time for commanders to make effective decisions and reduces the risk to life for friendly forces.

What should this FLOR look like? UAS are an inevitable core function of the FLOR, providing ISTAR and attack capabilities at comparatively low cost but UAS are not an all-weather capability and in sub zero temperatures are subject to poor battery life and icing conditions. Uncrewed Ground Systems (UGS) such as the Rheinmetall Mission Master will also form a core part of the FLOR, providing an all-weather ISTAR, precision strike and area suppression capability without suffering the effects of cold weather that UAS are subject to.

Both UAS and UGS can be used across the battlefield for different tasks such as UAS in the casevac role or UGS for sustainment of troops, delivering supplies and providing a mobile charging solution for soldier worn equipment. As the concept of operations (ConOp) and concept of employment (ConEmp) of UGS continue to evolve we will see them taking up a large number of roles, supplementing the soldier at all levels across the battlefield.

Employment of an Uncrewed Ground System

Network, communications and data are 3 words that are core to current machines on the battlefield. A robust network that limits opportunities for rouge entities to hack into whilst providing scalable reach across the battlefield enables good communications. Good communications enable control of platforms and relaying of data such as video feeds and telemetry. Data is the golden thread that machines rely on to know where they are and what they should do and also provide information back to the commanders. Without data, machines are dumb entities on the battlefield. This data can also be a very important source of information to build on the foundation for any autonomous systems. Feeding neural networks with trusted data will enable their successful employment. Collating, sorting and labelling data is another topic that is of considerable size and isn't explored in this article.

As already discussed, doctrinally UGS could be placed anywhere on the battlefield and would compliment soldiers in their everyday roles but where are they best placed to maximise their capability? The answer to this question is dependant on 3 variables: the level of autonomy of the system; the logistics chain required to get that platform to the point of need; and the culture of the Army.

The level of autonomy is a key driver. The further back from the front line the User is, the more time they will have to control the platform whereas the further forward the User is, less time and mental capacity for heads down operation will be available and they would rely on more autonomous features to allow them to continue with their primary duties.

The logistics chain is a huge factor in the employment of UGS on the battlefield and early platforms required an individual truck such as a Rheinmetall HX Palletised Load System to move the platform around the battlefield. This tied up an expensive platform and crew to move a small UGS around the battlefield which was unacceptable. Modern

UGS have been designed to be towed behind any primary vehicle or to be able to drive at speeds that enable them to form part of a convoy. This will have a significant impact on the logistics chain as each platform that has formed part of the convoy will also be able to carry its own logistics load, therefore decreasing, or eliminating, the number of crewed vehicles that are required to form a resupply convoy.

Culture is an often overlooked aspect of bringing a new capability into a service as Militaries often have very set ways of undertaking a task. Recently at the Defence IQ Uncrewed Systems Conference in London one speaker described the introduction of machines on the battlefield as “like giving soldiers at the battle of Waterloo laser weapons, they would likely still stand in long lines and follow the tactics they had been taught”. From the commanders down to the Users, everyone has to be ready to embrace change but also be empowered to try new tactics and build new doctrine to match the new capabilities offered.

UGS Design

UGS should not be thought of as any specific size, weight or shape and there are no hard set rules on different classifications of UGS. Many NATO countries have set out their own ideas and have typically based these on gross vehicle weight or on payload capacity but the term UGS covers everything from a small bomb disposal robot all the way through to a main battle tank fitted with a remote control or autonomous capability. Typically countries are exploring UGS that fall into the 500kg - 1000kg payload sector that will fit inside a CH-47 transport helicopter. This size and payload seems to be a sweet spot for both the design and employment of UGS at unit level. This payload capacity will allow for a platoon’s worth of kit to be loaded onto the platform, remote weapon stations with indirect fire capability to be fitted or installation of ISTAR suites that overmatch the enemies observation capability at unit level. Under the NATO proposal for UGS classes these platforms would be in the ‘medium’ category.

The primary differentiator for UGS should be the weight and size of the platforms and the

autonomous functionality. Sensors and user interface should be the same across platforms of all shapes and sizes. This helps to minimise the training burden but also helps to maintain trust across a range of platforms. The Rheinmetall PATH A-Kit is one such system that can be fitted to any drive-by-wire vehicle with little modification and to any older platform with an additional interface kit.

There are many different designs of UGS that are available to procure on the market currently, many of which are purpose built UGS designed to meet a military use case. These however are designed to meet a wide range of environments which can mean that they do not work well in certain terrains, a good example of which is snow. Militaries around the world have a huge range of vehicles that have been designed, built and tested to meet every environment from the arctic to the desert. For these more specialised use cases it might make more sense to integrate an autonomy kit and sensor pack onto an existing platform to make best use of the vehicles tried and tested performance coupled with an autonomous capability.

Trust

Trust is a complex human feeling that is hard to quantify, can be easily broken and is based on many aspects. Trust is generally built between two people and therefore is it possible to ever trust a machine or should trust in machines be termed justified confidence? Whatever it is described as, it must be built and maintained through time spent understanding the machine's behaviour. If the User and Commander do not have confidence in an autonomous platform it will never be allowed to perform to its full potential. Incremental experimentation with hardware and software, building knowledge and confidence along the journey, is central to a modern land force adopting the technology. The best example of this methodology is found in the automotive sector. Over the last 15 ears they have slowly been implementing more and more technology into cars as it became available. Technology such as basic cruise control has slowly advanced into adaptive cruise control which with the addition of advanced lane control has laid the path to autonomous driving features, all of which the User (driver) has accepted and now expects a car to come as standard with a new car.

Summary

We are already seeing a prolific use of UAS across the modern battlefield with many NATO nations rushing to upskill their soldiers in the systems use as well as rapid procurement of platforms. UGS are still in an earlier phase of the product life cycle but we are seeing an increased use of them across NATO with many countries building their own doctrine and tactics through experimentation programmes as well as understanding the safety and policy aspects of employing such systems. We are at a stage where it is not a case of 'will we see UGS on the battlefield' but 'when will we see a prolific use of them in a conflict'. Technology is advancing weekly and Armies around the world are racing to catch up with the procurement and employment of such systems.

Uncrewed Ground Systems will continue to build upon their successes. Integration of appliqué autonomy kits into existing platforms will provide a capability that could extend the life of current platforms and provide a battle winning capability that enables sensors before skin to become a reality.

To ensure the successful adoption of machines across the battlefield, commanders need to allow soldiers to think differently, apply different tactics and build new doctrine from the ground up. The concept of pushing machines further forward is becoming a reality but meaningful human control is still a necessity to stay within the laws of armed conflict. However, these too will likely evolve over time to meet technological advances that save human lives.

Pitkän kantaman yhteydet ja läpinäkyvä taistelukenttä

Prof. Marko Höyhtyä, Kapt. Jan Joutsi ja Kapt. Christian Andersson, Maanpuolustuskorkeakoulu

Johdanto

Sotajoukot ympäri maailman käyttävät yhä enemmän kaupallisia teknologioita. 5G on yksi näistä teknologioista. Taistelukenttä muuttuu koko ajan läpinäkyvämmäksi ja tiedonsiirron tarve niin ihmisten kuin koneiden viestinnässä kasvaa. Tukikohdan sisällä ja sieltä kotiin halutaan hyviä yhteyksiä. Mobiiliteknologiat tuovat uusia kyvykkyyksiä ja suorituskykyä. 5G:hen on kehitetty paljon turvallisen viranomaisviestinnän ominaisuuksia kuten priorisointia ja moniantenniteknologiaa sekä suunnattuja lähetyksiä. Vaikka 5G tuo mukanaan hyötyjä, on se toistaiseksi ollut lähinnä kaupunkialueiden ratkaisu. Sotilaskäytössä siviili-

teknologialla on omat haasteensa. Päätelaitteet esimerkiksi pyrkivät säännöllisin väliajoin ”huutelemaan” tukiasemalle ja paljastavat näin olinpaikkaansa tiedustelua tekevälle taholle. Aaltomuoto ja käytetyt taajuudet ovat hyvin tiedossa, ja sen takia järjestelmän havainnointi on helppoa. Teolliset toimijat ja tutkimusorganisaatiot ovat miettimässä sotilaskäyttöön soveltuvaa mobiiliteknologiaa, joka olisi vaikeammin havaittavissa. Tavoitteena on, että se voisi olla yhä yhteen toimivaa siviilijärjestelmän kanssa. Myös seuraava sukupolvi eli 6G tulee olemaan pohjimmiltaan siviiliteknologia, mutta siinä on useita sotilaskäytön kannalta mielenkiintoisia ominaisuuksia. Tarkastelemme tässä artikkelissa niin mahdollistavia teknologioita kuin sotilaallisia sovelluskohteitakin, erityisesti koneiden näkökulmasta.

6G mahdollistaa uusia sovelluksia ja käyttötapauksia

Useat kriittisen viranomaisviestinnän ominaisuuksista soveltuvat sotilastoimintaan ja siksi 6G:n kehityksessä on järkevää tehdä yhteistyötä viranomaisten ja sotilaiden välillä. Uuden sukupolven myötä kehitetään pidemmälle kyky viipaloida verkkoa tietoturvallisesti eri käyttäjäryhmille ja sovelluksille. Saadaan tuettua yhä matalampaa viivettä tai korkeampaa tiedonsiirtonopeutta. Pystytään yhä tarkempiin antennikeilanmuodostuksiin. 6G kykenee toimimaan dynaamisemmin taajuuskäytössään ja sen myötä luotettavammin häirityssä ympäristössä. Mitkä sitten ovat erityiset eroavuudet edelliseen sukupolveen verrattuna? Asiaa kuvaa hyvin alla oleva kuva 1, jossa on esitettynä 6G:n kokonaan uudet sovelluskohteet, joita 5G:ssä vielä ei ollut.

6G:n uudet käyttötapaukset 5G:hen verrattuna. Pienet kuvituskuvat: Freepik.

Etäisten alueiden yhteydet. 6G suunnitellaan alusta asti tarjoamaan yhteydet kaikkialla.

Yhtäaikainen viestintä ja monitorointi. Viestinnän lisäksi verkko toimii myös sensorina ja tarjoaa spatiaalista tietoa ympäristön kohteista ja niiden liikkeistä. 6G tukee tarkkaa 3D-paikannusta. Verkon toiminnot ovat tekoälypohjaisesti optimoituja ja se tukee hyvin hajautetun laskennan ja tekoälyn sovelluksin kuten autonomisten laitteiden yhteistoimintaa.

Etäiset alueet

6G tuo mukanaan kolmiulotteisen verkon, jossa ovat mukana niin ilmassa olevat kuin avaruusalustatkin. Ei puhuta enää integroidusta järjestelmästä, vaan yhtenäisestä arkkitehtuurista. Satelliitit ovat alusta asti osa järjestelmää, niitä ei integroida mukaan jälkikäteen. Tällainen arkkitehtuuri mahdollistaa yhteyksiä kaikkialle maalla, merellä ja ilmassa standardoidulla ratkaisulla. Yhtenä tavoitteena koko järjestelmän osalta käytetään termiä ”Connecting the unconnected”. Tämä tarkoittaa, että lähtökohtaisesti 6G:n suunnitellaan toimivan hyvin etäisillä alueilla kuten Lapin tai Itä-Suomen erämaissa ja kehittyvissä maissa. Jatkumona jo 5G:ssä aloitetulle non-terrestrial networking (NTN) työlle tulee tulevaisuuden järjestelmä mahdollistamaan suorat yhteydet satelliiteista pieniin laitteisiin kuten älypuhelimiin ja sensoreihin. Tämä voi mullistaa tavan kommunikoida etäisillä alueilla. Ei ole välttämätöntä olla erillistä satelliittiviestintälaitetta, vaan mikä tahansa 6G-laite voisi olla suoraan yhteydessä satelliittiin. Lisäksi 6G tulee käyttämään useita eri taajuusalueita viestinnässään.

Langattoman viestiliikenteen kantama on taajuusriippuvaista. Mitä korkeampaa taajuutta käytetään, sitä nopeammin signaali vaimenee. 6G tuo matalien taajuuksien ratkaisut pitkään maanpäälliseen viestintään ja on ajateltu alimpien taajuuksien olevan 410 MHz alueella. Taajuudet tästä 700 MHz asti ovat mahdollisia pidempien kantamien taajuuksia. Yhdessä satelliittien ja ilmassa olevien alustojen avulla voidaan näin saada yhteydet toimimaan niin ihmisille kuin erilaisille sensoreille ja IoT-laitteille myös metsäympäristöissä.

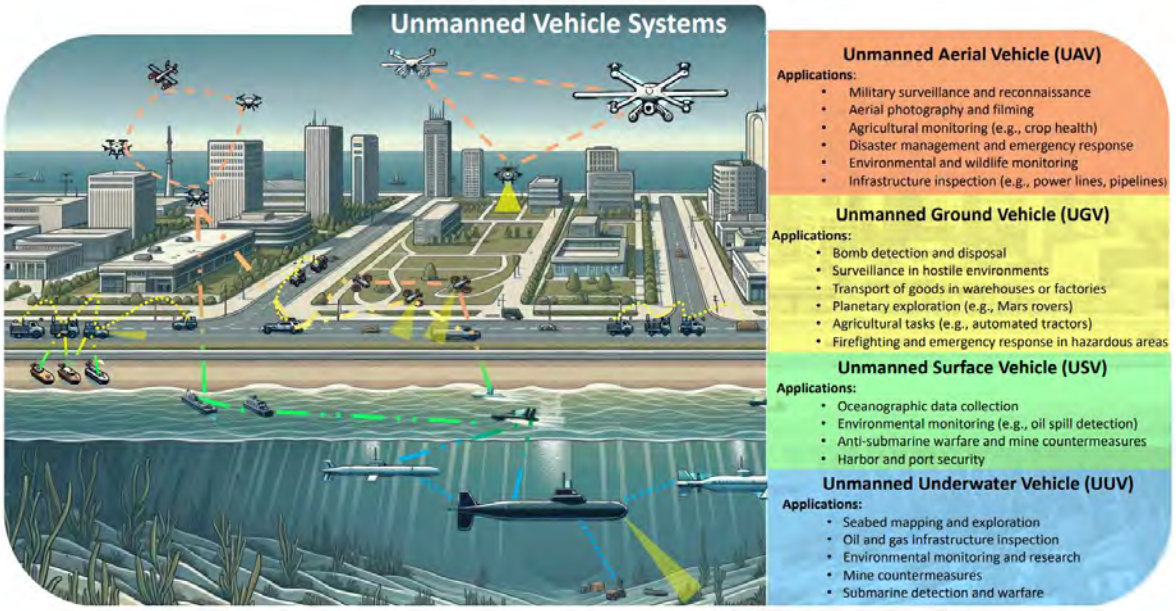
Konvergenssi ja kaiken verkottuminen

6G-verkko mahdollistaa viestintä-, paikannus- ja monitorointikyvykkyyden, myös kauempana

maan pinnasta. Tämä tekee taistelukentästä yhä läpinäkyvämmän. 6G sekä näkyy ulospäin että tarjoaa kyvykkyyden monitoroida vastapuolen radiotoimintaa. Erilaiset sensorijärjestelmät ja IoT-laitteet voivat verkottua tehokkaasti yhteen. Tiedonsiirtoa tarvitsevat niin ihmisten välinen viestintä kuin miehittämättömien maalla, merellä ja ilmassa toimivien ajoneuvojen parveilu. Kaikkea viestintää ei tulla hoitamaan ilman perinteisiä pelkästään sotilaskäyttöön suunniteltuja järjestelmiä ja niiden käyttö kriittiseen viestintään jatkuu varmasti tulevaisuudessa. On kuitenkin mielenkiintoinen ajatus se, ettei pyritäkään estämään kaikkea radioliikennettä ja pysytä täysin hiljaa. Jos toiminta-alue kyllästetään erilaisten halpojen ihmisistä erillään olevien järjestelmien radiosignaaleilla ja pyritään ihmisten, koneiden ja tärkeiden kohteiden viestintä saamaan radiospektrissä mahdollisimman saman näköiseksi. Mihin vihollinen voimansa kohdistaa, jos kohdealueella on satoja tai jopa tuhansia samankaltaisia kohteita? Ei halpaan sensoriin kannata kalliilla ohjuksella iskeä.

Autonomian kasvaessa tarvitaan verkko-ympäristöä, joka on riittävän nopea, luotettava ja laaja, jotta siinä voidaan hallita tekoälyn, parveilun ja datan keräämisen sekä tehokkaan tiedon jakamisen tarpeita. Autonominen laite tai kone tarvitsee matalaviiveisiä yhteyksiä täyttääkseen usein varsin monimutkaisten tehtävien vaatimukset. Verkon on mahdollistettava miehittämättömille järjestelmille reaaliaikainen paikannus, navigointi, sijainnin ja ympäristön havainnointitietojen jako sekä liikeratojen reaaliaikainen suunnittelu parvessakin toimiessa. Tämä tuo haasteita etenkin syrjäisille alueille.

Reuna- ja pilvilaskenta mahdollistavat hajautettuja laskenta-arkkitehtuureja laskennallisesti vaativiin tehtäviin ja massiiviseen tietojen purkamiseen. Laitteiden määrän ja niiden jakaman tiedon lisääntyessä niin laitteiden välillä kuin laitteita operoiville ihmisille, kasvavat myös datan liikennemäärät räjähdysmäisesti. Tämä on huomioitava uusia 6G-verkkoja rakentaessa. Yhtenä osaratkaisuna voivat olla laitteet itse. Sen lisäksi, että autonominen kone toimii 6G-verkossa IoT-laitteena, voidaan isoimmat niistä valjastaa toimimaan osana verkkoa. Ne voivat toimia releasemana tai vaikkapa nopeasti liikuteltavana 5/6G-tukiasemana. Verkon on tuettava autonomisten laitteiden tehokasta datan keruuta ja tekoälyn koulutusta. Sitä voidaan tehdä reunalaskennan avulla itse koneissa, hyödyntäen niiden sisäisiä prosessoreita. Tämä tuo merkittävästi lisää laskentatehoa osatehtäviin ja vain raskaimmat laskennat tehdään isoilla serverikoneilla/pilvessä.



6G. Miehittämättömien laitteiden verkosto. Kuva lähteestä G. Liu et al, "Generative AI for Unmanned Vehicle Swarms: Challenges, Applications and Opportunities," 2402.18062v1 (arxiv.org)

Yllä olevassa kuvassa on esitettynä erilaiset autonomiset järjestelmät ja niiden käyttökohteet niin sotilas- kuin siviilikäytössä. Vesialueilla koneet voivat toimia sekä pinnan alla että sen päällä. Tulevaisuudessa kvanttiteknologioiden uskotaan tuovat paikannuskyvykkyyttä myös veden ja jään alle. 6G tuo uusia paikannuskyvykkyyksiä pinta-aluksille sekä maassa ja ilmassa toimiville koneille mm. matalan kiertoradan satelliittien signaalien avulla. Tämä tuo resilienssiä toimintaan ja niin paikannus- kuin aikasignaaleja käyttöön vaikka GNSS-taajuuskaistat olisivatkin häirinnän alla.

Haavoittuvuudet

Tietoturva-asiantuntija Mikko Hyppösen periaatteena tunnetaan sanonta "Jos laitteessa on älyä, se on myös haavoittuvainen". Tämä koskee myös sotilasjärjestelmiä, joilla on laskentakyvykkyyttä ja jotka ovat verkottu-

neita. Kuinka turvataan hyperverkottunut toiminta? On pyrittävä segmentoimaan verkot ja eristämään kriittisimmät osiot muista niin, että johonkin osajärjestelmään tehty onnistunut kyberhyökkäys pysyy pienessä osassa verkkoa eikä leviä laajemmin järjestelmiin. Voimakasta häirintää vastaan voidaan hyödyntää suurta laitemäärää ja uudelleen reitityksiä, eri taajuusalueita sekä suunnattuja lähetyksiä. Tulevaisuuden järjestelmiä on myös syytä kehittää niin, että ne ovat kvanttiturvallisia eikä kvanttilaskennan kehittyminen vaaranna salausta.

Kaupallisia lähetinvastaanottimia kuten WiFi, 4G, ja Starlink on käytetty laajasti Ukrainan sodassa niiden kustannustehokkuuden ja tiedonsiirtokapasiteetin vuoksi. Samankaltaiset hyödyt voidaan nähdä myös 6G-teknologiassa. 6G mahdollistaa koneiden välisen kommunikaation sekä niiden ja ihmisoperaattoreiden väliset yhteydet. .

Kaupallisten standardoitujen teknologioiden, kuten 6G-verkon, käyttöönotto sotilasoperaatioissa tuo mukanaan haavoittuvuuksia, erityisesti elektronisen vaikuttamisen ja häirinnän suhteen. Standardoidut teknologiat ovat julkisia, ja niiden heikkoudet on paljon nopeampi löytää verrattuna salattuihin sotilastiedonsiirtojärjestelmiin. Esimerkiksi 4G- ja 5G-verkoissa käytettyä OFDM-modulaatiotekniikkaa (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ja sen häirintäsietoisuutta on tutkittu paljon. OFDM:n häirintä onnistuu kevyilläkin häirintälaitteilla, koska tarvitaan pienempää tehotiheyttä verrattuna sotilasjärjestelmissä käytettyihin hajaspektritekniikoihin ja taajuushyppiviin lähetyksiin. **Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.** esittää taistelukentän elektronisen sodankäynnin ulottuvuutta ja erilaisia radiolähetteitä. WiMax-teknologian sijasta olisi tulevaisuudessa luontevampaa kylläkin käyttää 5G- ja 6G-teknologiaa.

Tehokkaissa sotilasjärjestelmissä häirintään käytetään yleensä laajakaistaisia ja monikanavaisia häirintätekniikoita, jotka vaativat suhteellisen suuria tehoja tai useita lähettimiä. Standardoidut modulointitekniikat kuten

OFDM kuitenkin mahdollistavat harvempien tai pienempitehoisempien häirintälähettimien käytön, mikä vaikeuttaa koneiden armeijan hajauttamista ja suojausta. Yksi ratkaisumalli voisi olla käyttää Kuvan 4 mukaisesti heterogeenisia pienistä parvista koostuvia järjestelmiä, joiden suoja perustuu riittävän lyhyisiin tiedonsiirtolinkkeihin. Taktisesti tehokas koneista muodostuva järjestelmä edellyttää kehittyneitä keilanmuodostustekniikoita, maaston muotojen hyödyntämistä, sekä häirintäsuojien ja radiohorisontin huomioimista taistelutilanteessa. Toiminta kauempana taistelukentästä, tukialueilla, on vähemmän altis elektroniselle vaikuttamiselle ja tiedustelulle. Etenkin siellä 6G-tekniikkaa hyödyntävien koneiden integroiminen osaksi puolustusjärjestelmiä voi näytellä hyvinkin merkittävää roolia.

Yhteenveto

6G mahdollistaa yhä tehokkaammat autonomiset ja etäohjattavat laitteet, mutta myös niitä kohti suunnattuja vastatoimia. Koneiden sota niin maalla, merelle kuin ilmassa voi käyttää 6G-verkon viestintä-, paikannus- ja verkkoominaisuuksia. Tämä mahdollistaa esimerkiksi heterogeenisten koneparvien käytön erilaisissa tehtävissä. Koska 6G on siviilijärjestelmä, jonka käyttämät taajuudet ja protokollat tunnetaan, on siinä elektroniseen sodankäyntiin liittyviä haavoittuvuuksia. Siinä tulee olemaan myös hyviä sotilaskäyttöön ja hyökkäysten vastaiseen toimintaan liittyviä toiminnallisuuksia. Paikannuskyky myös satelliitteja käyttäen tuo resilienssiä GNSS-häirinnän aikaiseen toimintaan. 6G suunnitellaan lähtökohtaisesti tukemaan etäisillä alueilla tapahtuvaa toimintaa ja erilaisia tekoälypohjaisia ratkaisuja kuten autonomisia laitteita. Toivottavasti teknologiaa kehitetään sopivien rahoitusinstrumenttien ja teollisuuden panostuksilla Suomen puolustustoimintaa hyvin tukevalle tasolle. Tässä hyvänä kehityskohteena olisi mm. aaltomuodon muuttaminen vaikeammin havaittavak

.

JYU. IT'S
ABOUT SECURITY

Teknologian kehitys, globalisaatio ja niistä seuraava maiden keskinäisriippuvuus niin taloudessa, kriisien hallinnassa kuin turvallisuudessakin ovat luoneet tarpeen monitieteiselle turvallisuuden ymmärtämiselle ja ennakoinnille. Keskeistä on paitsi ymmärtää nykyistä digitaalista ympäristöä, niin myös pystyä keräämään, analysoimaan ja hyödyntämään sitä koskevaa tietoa.

Jyväskylän yliopiston turvallisuuden ja strategisen analyysin ja kyberturvallisuuden maisteriohjelmat vastaavat tähän uudenlaisen osaamisen ja asiantuntijoiden tarpeeseen. Maisteriohjelmista valmistuu asiantuntijoita, jotka ymmärtävät ja osaavat analysoida turvallisuuteen vaikuttavia ilmiöitä entistä digitaalisemmassa maailmassa. Lisätietoja maisteriohjelmiin hakemisesta ja niiden sisällöstä saa Opintopolusta osoitteesta www.opintopolku.fi. Hakuaika maisteriohjelmiin alkaa 11.3.2025 ja kestää kaksi viikkoa.

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA

Koneet ja toimijuus – miten valjastaa teknologian tuoma muutos vahvuudeksi

Ukrainassa käytävä sota on tuonut uutta teknologiaa aikaisempaa laajamittaisempaan käyttöön taistelukentille. Miehittämättömät laitteet ovat luoneet uudentyyppistä suorituskykyä, kaupallisten toimijoiden palveluita on militarisoitu, ja tekoälyn tukemat päätöksenteon järjestelmät tehostavat operaatioiden suunnittelua ja johtamista. Onko tilanne uusi, ja miten lisääntyvä ”koneiden sota” muokkaa erityisesti sotilasjohtajan toimijuutta?

Esimerkkeinä uudentyyppisestä teknologiasta voidaan nostaa analyysijärjestelmät sekä miehittämättömät laitteet. Miehittämättömien laitteiden automaattisemmat ominaisuudet muuttavat niiden käyttöä kohti autonomiaa. Analyysijärjestelmät tukevat päätöksentekoa tehostamalla prosesseja tekoälykyvykkyyksien avulla, mutta samalla ne tulevat muuttamaan ajatteluprosessia. Molemmissa esimerkeissä on nähtävissä muutoksia ihmisen roolille ja toimijuudelle.

Mitä toimijuus tarkoittaa?

Toimijuus:
Yksilön sosiokulttuurisesti määrittynyt kyky toimia ja vaikuttaa omassa sosiaalisessa ympäristössään.
Autonomia:
Kyky tehdä itsenäisiä päätöksiä omien päämäärien mukaisesti.

Kun tunnemme olevamme aktiivisia toimijoita sosiaalisessa ympäristössämme, koemme pystyvämme vaikuttamaan omalla toiminnallamme ulkopuoliseen maailmaan. Tämä on kriittistä myös päätöksenteon kannalta – miksi tekisimme valintoja, jos kokisimme, että niillä ei ole vaikutusta mihinkään? Toimintamme on aina sidoksissa kulttuurisiin ja organisatorisiin rakenteisiin, jotka sekä rajoittavat että edistävät kykyämme toimia ja tehdä päätöksiä.

Entä teknologia? Usein kuulemme toistettavan väitettä siitä, että teknologia itsessään on arvovapaata, ja vain sen käyttäjien päätöksillä ja intentioilla on väliä. Kaikki teknologia on kuitenkin suunniteltu jotain päämäärää varten, ja jo sen olemassaolo muokkaa inhimillisen toiminnan kenttää ja päätöksentekoa. Autonomiset järjestelmät ja algoritmit sekoittavat pelikenttää entisestään: ne ovat jatkuvassa, suorassa vaikutuksessa ympärillä olevan maailman kanssa, ja muokkaavat sitä tuottamallaan tiedolla ja toiminnallaan. Tällöin toimijuuden rajaaminen vain orgaanisiin olentoihin muuttuu entistä vaikeammaksi.

Tällä hetkellä todistamme ihmisen ja älykkään teknologian hybriditoimijuuden nousua. Algoritmisten järjestelmien ja niiden -tuottamien suositusten ollessa päivittäinen osa elmäämme, voi myös päätöksenteon ja ajatusten alkuperä hämärtyä. Sotilasorganisaation hierarkkisuuden ja rakenteen vuoksi toimijuus - on jo valmiiksi erilaista kuin siviiliyhteiskunnassa. Sodan aikana vahva aloitteellisuus ja kyky tehdä itsenäisiä päätöksiä ovat kriittisen tärkeässä roolissa. Kuinka paljon algoritmien tuottama tieto vaikuttaa omaan toimijuuteemme, kun emme välttämättä enää hahmota rajaa itsemme ja algoritmien välillä? Tämän kysymyksen implikaatioita tarkastelemme tässä artikkelissa.

Muutos on jatkuvaa, eikä käsillä ole ensimmäinen murros

Sodankäynnin historian aikana teknologian kehitys on aiheuttanut mullistuksia sodankäynnissä ja samalla toimijuudessa.

Keskiajan sotapäällikkö oli usein myös armeijansa esitaistelija, ja hänen paikkansa oli johtamassa miekka kädessä taistelun tärkeintä painopistettä. Toimijuus muuttui, kun ruutiaseet lisäsivät joukkojen tulivoimaa. Renessanssikenraalin tuli hallita uuden teknologian soveltamista taistelukentillä, ja toimijuus muuttui esitaistelijasta koordinoijaksi.

Siirtykäämme mustaruutisavusta 1. maailmansotaan. Ensimmäistä maailmansotaa voi perustellusti pitää myös ensimmäisenä teollisen ajan suursotana, jossa teknologinen kehitys mullisti sodankäyntiä – muokaten myös toimijuutta. Teknologia pakotti asevoimat mukautumaan, ja se muutti toimijuutta kohti suurempaa autonomiaa organisaatioiden alemmilla tasoilla, koska taistelukentän olosuhteet ja vaatimukset pakottivat hajauttamaan joukkoja ja jakamaan vastuuta yhä alemmas.

Moni 1. maailmansodan aikana käytetyistä merkittävistä keksinnöistä (esim. konekivääri, lentokone, moderni tykistö, kemialliset aseet) olivat jo sodan alkaessa olemassa, mutta niiden merkitystä ei kaikissa asevoimissa ollut ymmärretty, tai niitä ei ollut otettu laajamittaiseen käyttöön.

Sodan edetessä teknologia myös kehittyi valtavaa vauhtia, ja neljän sotavuoden aikana asevoimien suorituskyky muuttui huomattavasti aikaisempaa enemmän teknologiaan perustuvaksi. Sodan aikana teknologian kehitys tuli myös osaksi asevoimien toimijuutta, koska uusia järjestelmiä otettiin nopeasti käyttöön, niitä kehitettiin voimakkaasti sodan aikana ja taktiikat kehittyivät teknologisten mahdollisuuksien myötä.

Sama teknologian soveltamisen ilmiö on havaittavissa tällä hetkellä Ukrainassa. Esimerkiksi miehittämättömät ilma-alukset eivät ole uusi keksintö, mutta niiden käyttö on ollut pienimuotoista useille asevoimille ennen Ukrainan sotaa. Laajamittainen käyttö ja järjestelmien nopea kehitys on vienyt toimijuutta kohti lisääntynyttä yksilöiden autonomiaa, koska teknologia tuo suorituskyvyn hyvin alhaiselle tasolle organisaatioissa. Kehitys kohti koneiden autonomiaa on samalla alkanut.

Teknologian kehitys on muuttanut siis historian aikana asevoimien sisällä toimivien yksilöiden ja verkostojen toimijuutta. Ilmiö ei ole uusi, mutta tekoälyteknologian kehitys muokkaa ihmisen toimijuutta erityisen voimakkaaksi siksi, että se ulottuu elämämme jokaiselle osa-alueelle – haastaen myös valtarakenteet.

Uudet vallan muodot

Älykkään, nopeasti kehittyvän teknologian nousu globaalissa maailmassa tuo sosiaaliseen ympäristöömme uudenlaisia, valtaa käyttäviä toimijoita valtioiden ja hallitusten lisäksi hyvänä esimerkkinä teknologia-alan suuryritykset (ns. Big Tech), jotka investoivat valtavia summia tekoälyn ja digitaalisten teknologioiden kehitykseen. Nämä yritykset voivat käyttää valtaansa ja tekemiään linjanvetoja ja päätöksiä tavalla, joka vaikuttaa teknologioita käyttävien yksilöihin, organisaatioihin ja valtiollisiin toimijoihin pakottamalla nämä toimimaan päätöksissään kehitetyn teknologian ja linjanvetojen asettamissa raameissa. (esim. Zuboff, S.; Stevens, M.).

Puolustusvoimien näkökulmasta vallan määrittyminen uudelleen on haasteellista. Toiminnan mandaatti, tavoitteet ja vastuut eivät muutu, mutta mitä enemmän korkea teknologia on vaikuttamassa päätöksentekoon, sitä enemmän kolmannen osapuolen toimijoilla on epäsuoraa ääni kuuluu ja ketkä jäävät ulkopuolelle. Jos päätöksenteko siirtyy yhä enemmän algoritmeille ja automatisoiduille järjestelmille, valta keskittyy niille, joilla on osaamista tulkita niiden tuottamaa dataa. Tämä voi jättää ulkopuolelle heidät, joilla ei ole teknologista asiantuntemusta, tai jotka eivät pääse käsiksi uusiin teknologisiin resursseihin. Syntyy eräänlainen "teknologinen eliitti", jonka ääni kuuluu päätöksenteossa.

Tällä vallan uusjaolla voi olla suuria implikaatioita myös puolustuskontekstissa. Teknologiaa lähellä olevat ja sen tuottamaa dataa ymmärtävät henkilöt käyttävät tällöin epäsuoraa valtaa, jossa ihmisen ja koneen yhteistoimijuudella ja teknologiaan kohdistetulla luottamuksella on suuri rooli.

Secure, mission critical solutions

Yhdistämme huipputeknologian ja yli 50 vuoden asiantuntemuksen avaruudessa toimimisesta. Meillä on pitkä kokemus avaruusteknologiahankkeista muun muassa Euroopan avaruusjärjestölle sekä eri turvallisuustoimijoille ja viranomaisille. Tarjoamme kehittyneitä satelliittijärjestelmiä, dataan pohjaavaa analytiikkaa, tietoturvaa ja ennakoivaa tilannekuvaa, jotka parantavat turvallisuutta ja operatiivista kyvykkyyttä. Olemme osallistuneet yli 1 000 avaruusmission toteuttamiseen.

Avaruuden parissa meillä työskentelee globaalisti yli 2 500 henkilöä, ja Suomessa meitä on 150 paikkatieto- ja avaruusosaajaa.

cgi.com/fi/avaruus
Hannu Kämäri, hannu.kamari@cgi.com

CGI

Puolustusvoimissa toimijuutta tulee tarkastella uudella tavalla teknologian kehittämisen vaatiman asiantuntemuksen kautta. Perimmäinen kysymys on, kuinka paljon sotilasjohtajan tulee ymmärtää hänen joukkojensa käyttämien tekoälyjärjestelmien toiminnasta ja niiden kehittämisestä. Tietotaito esimerkiksi algoritmien kehityksestä ei voi olla vaatimus sotilasjohtajalle, mutta toisaalta operatiivisten suorituskykyvaatimusten määrittely ei saa olla esimerkiksi tekoälyjärjestelmiä kehittävien yritysten vastuulla.

Sotilasorganisaatiot vaativat valtaa. Tämän haasteen hallitsemiseksi tiivis ohjaus ja yhteistyö teknologiatoimittajien välillä on kriittistä.

Teknologioiden kehittyminen ei vaikuta organisaatioihin vain operatiivisella tasolla, vaan se on tuonut mukanaan myös laajempia sosiaalisia muutoksia, jotka vaikuttavat esimerkiksi organisaation kulttuuriin. Esimerkiksi älykkään teknologian suuret lupaukset nopeudesta ja tehokkuudesta voivat haastaa perinteisempiä arvoja, kuten harkintaa ja ihmiskeskeistä johtajuutta. Kun tekoälyä käytetään analysoimaan ja esittämään strategisia suosituksia, on mahdollista, että ihmisten rooli siirtyy yhä enemmän järjestelmien valvontaan ja ylläpitoon sen sijaan, että he olisivat suoraan päätöksenteon keskiössä. Tämä voi muuttaa sitä, miten organisaatio arvottaa kokemusta, intuitiota ja johtajuutta. Tämä saattaa myös synnyttää uudenlaista jakoa niiden välillä, joilla on teknologista asiantuntemusta, ja niiden, jotka edustavat perinteisempää sotilaallista osaamista.

Teknologisen vallan ja päätöksenteon keskittäminen herättää myös kysymyksen siitä, kenen

jatkossa aikaisempaa enemmän ymmärrystä esimerkiksi tekoälyteknologiasta, jotta toimijuus ja vastuu voidaan tosiallisesti pitää organisaatiolla. Muuten on vaarana, että päätöksentekokykyä ulkoistetaan teknologian toimittajille, joiden voi olla vaikea ymmärtää käytön kontekstia koko sen laajuudessa. Tähän haasteeseen tulee vastata sekä sotilasorganisaatioiden oman ymmärryksen ja osaamisen lisäämisellä että jatkuvalla dialogilla teknologiaa kehittävien tahojen ja sotilasorganisaatioiden välillä.

Organisaatioilla tulee olla myös oma kyky kehittää teknologiaa erityisesti poikkeusoloissa. Teknologinen kehitys on niin keskeinen osa nykyaikaista taistelukenttää, että toimijuuden säilyttämiseksi kehityskykyyn on panostettava. Se on myös tärkeää luottamuksen rakentamiseksi.

Luottamus älykkään automaation aikana

Älykästä teknologiaa ja algoritmeja hyödyntävät järjestelmät haastavat kokemustamme päätöksenteosta ja vastuun jakautumisesta. Mihin oikeastaan luotamme, kun toimimme algoritmien tekemien suosituksien perusteella? Jos tunnemme teknologian toimintaperiaatteet ja niiden rajoitukset, saattaa vahvin luottamuksemme kohdistua **omaan taitoomme tulkita suosituksia**. Vai luotammeko kenties siihen tahoon, joka on kehittänyt teknologian ja siihen, että he ovat toimineet oikein ja **jakavat meidän periaatteemme ja arvomme**? Erityisesti hierarkkisissa organisaatioissa ja päätöksentekotilanteissa luottamus voi myös kohdistua komentoketjussa yläpuolellamme olevaan henkilöön ja siihen, että hänellä on **tarpeeksi tietoa ja osaamista** tehdäkseen oikeita päätöksiä. Esimerkkinä toisesta tällaisesta hierarkkisesta kontekstista ovat sairaalat (esim. Laakasuo et al.).

Luottamuksen kohteen lisäksi sen vahvuuden ymmärtäminen on tärkeää tulevaisuuden toimintaketjuja ja -malleja suunnitellessa. Jos tekoälyn antamaan tietoon luotetaan liikaa, ihmiset voivat lakata arvioimasta tietoa kriittisesti, kun taas aliluottamus voi johtaa siihen, että tekoälyn aitoa hyötyä tuovat suositukset tai tieto sivuutetaan. Kriisitilanteessa, jossa aika on rajallista ja paine valtava, intuitio ohjaa usein toimintaa – mutta mitä tapahtuu, jos ihmisen kokemusperäinen intuitio alkaa

rapautua ajatusprosessin automatisoinnin myötä?

Toimijuuden eroosio saattaa tapahtua salakavalasti. Kun teknologia automatisoi yhä enemmän päätöksenteon osia, ihmisten kyky tulkita tietoa intuitiivisesti saattaa heikentyä. Tämä voi johtaa tilanteisiin, joissa ihmiset eivät enää luota omaan arvioonsa, vaan toimivat tekoälyn suositusten pohjalta, jolloin ihmisen rooli kriittisenä tulkitsijana hämärtyy. Samalla liiallinen teknologiaan luottaminen voi luoda virheellisen turvallisuudentunteen, ja intuition heikkeneminen saattaa vaarantaa kyvyn sopeutua nopeasti muuttuvaan tilanteeseen. Näin ollen teknologinen kehitys voi positiivisten puoliensa lisäksi myös horjuttaa perinteistä toimijuutta, joka on perustunut inhimilliseen kokemukseen ja reagointikykyyn.

Konetoimijuus

Tekoälyn ja algoritmien käytön yleistyminen tuovat mukanaan merkittäviä muutoksia vastuunjakoon. Algoritmien kehittyessä niistä on tullut enemmän kuin pelkkiä mekaanisia työkaluja – ne oppivat, mukautuvat ja vaikuttavat omalta osaltaan sotilaallisiin operaatioihin. Massimo Airoldin "konehabitusta" käsittelevän tutkimuksen mukaan nämä järjestelmät voivat omaksua kulttuurisia ja sosiaalisia vinoumia, joita niiden suunnittelijat eivät aina hallitse. Puolustusvoimien kontekstissa tämä voi tarkoittaa, että kun päätöksenteko on osittain automatisoitua, myös perinteinen vastuunjako ihmisen ja teknologian välillä hämärtyy. Algoritmien avulla toimiva sotilas voi joutua tilanteeseen, jossa hänen toimijuutensa on rajoitettu, mutta vastuu päätöksistä jää hänen harteilleen. (esim. Elish, M.).

Sosiaalitieteisiin nojaava konsulttiyritys Stripe Partners on tehnyt Airoldin työhön nojaavan jäsennyksen, jonka tarkoitus on auttaa suunnittelemaan ihmisen ja algoritmin yhteistoimintaa. Se painottaa ihmisen roolia päätöksentekotilanteissa, joissa tekoälyjärjestelmät tuottavat suosituksia tai suorittavat tehtäviä. Airoldin tunnistama typologia perustuu Stripe Partnertsin tiivistämänä kahteen tekijään, jotka ohjaavat käyttäjän ja koneen välistä suhdetta:

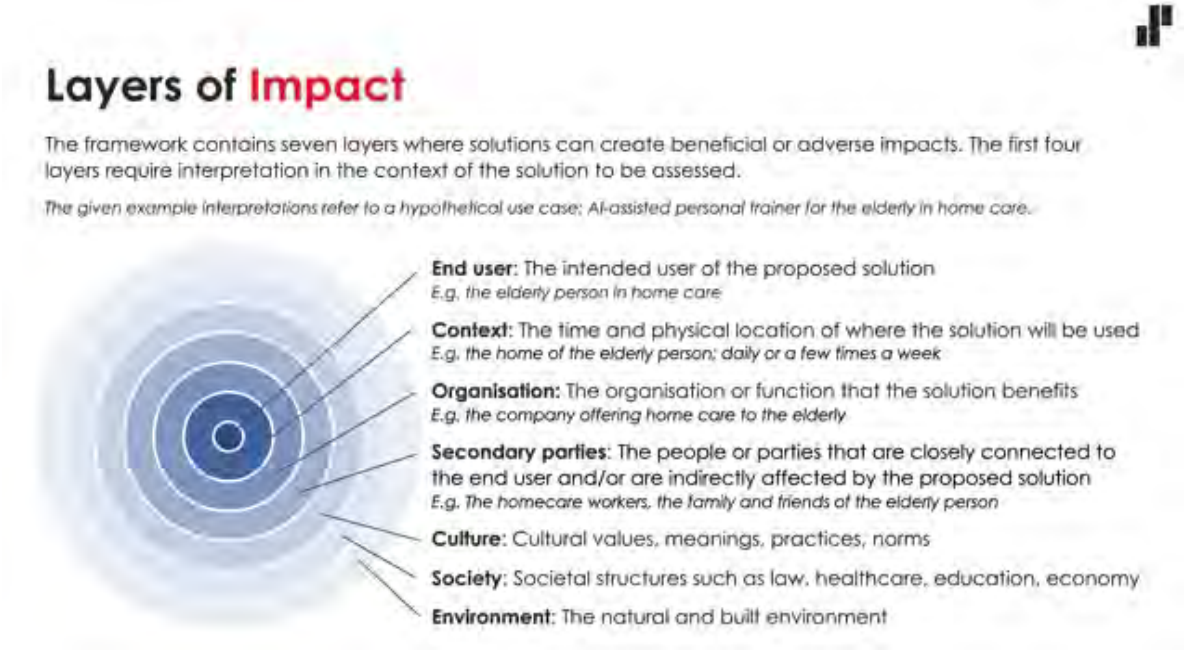
1. Tiedon epäsymmetrian taso: Tietääkö algoritminen agentti enemmän käyttäjästä kuin käyttäjä tietää algoritmin toiminnasta?
2. Kulttuurinen yhteensopivuus: Kuinka hyvin koneen malliin koodatut arvot ja kulttuuri ovat linjassa käyttäjän kanssa?

Nämä tekijät muodostavat alla olevan nelikentän kaksi akselia, ja itse nelikenttä muodostuu neljästä typologiasta: assisting, nudging, misunderstanding ja collaboration.

Syvennytään nelikenttään konkreettisen esimerkin avulla. Analyytikkojen käyttämien, edistyneiden data-analyysialustojen tarkoitus on tunnistaa kaavoja valtavista määristä dataa, ja tuottaa huomioita, joiden pohjalta päätöksentekijät voivat toimia.

Analyysityökalua voisi arvioida esimerkiksi seuraavasti Airoldin työhön perustuen:

- **Assisting**: Jos tiedon epäsymmetria ja kulttuurinen yhteensopivuus ovat korkeat, käyttäjä saattaa luottaa alustan tarjoamiin suosituksiin ja päätöksiin, vaikka hän ei täysin ymmärrä, miten algoritmi toimii. On olemassa riski, että käyttäjä alkaa tukeutua liikaa toistettuihin malleihin ja rutiineihin.
- **Nudging**: Jos tiedon epäsymmetria on korkea mutta kulttuurinen yhteensopivuus matala, alusta saattaa tarjota suosituksia tai ratkaisuja, jotka voivat tuntua käyttäjästä



epäsopivilta tai yllättäviltä. Tämä voisi ilmetä siten, että järjestelmä kannustaa käyttäjää tekemään strategisia päätöksiä, jotka eivät ole linjassa käyttäjän omien tavoitteiden kanssa. Kulttuurisella epäyhteensopivuudella voi kuitenkin olla myös positiivinen juonne: omaan viitekehykseemme epäsopivalta tuntuvat suositukset voivat auttaa näkemään uusia mahdollisuuksia.

- **Misunderstanding**: Jos sekä tiedon epäsymmetria että kulttuurinen yhteensopivuus ovat matalia, käyttäjät huomaavat, että alusta ei toimi heidän tavoitteidensa mukaisesti. Tämä johtaa toivottavasti siihen, että käyttäjät haluavat muuttaa tai korjata järjestelmän toimintaa. Tämä voisi tapahtua esimerkiksi, jos käyttäjät huomaavat, että alusta tekee virheellisiä analyyseja tai johtopäätöksiä, jotka vaikuttavat haitallisesti operatiiviseen toimintaan.
- **Collaboration**: Jos tiedon epäsymmetria on matala ja kulttuurinen yhteensopivuus korkea, käyttäjät voivat kokea, että he pystyvät aktiivisesti muokkaamaan alustan toimintaa omien tavoitteidensa mukaan. Tämä on mahdollista, jos käyttäjillä on riittävästi tietoa ja työkaluja, joiden avulla he voivat muokata algoritmia ja tehdä siitä oman toimintansa kannalta tehokkaamman.

Miten tästä eteenpäin?

Ihmisen ja älykkään teknologian yhteistoimintaan ei ole olemassa yksinkertaisia vastauksia. Tähän haasteeseen tulee kuitenkin vastata. Kun arvomaailmamme vaihtelee vahvasti yhteiskunnittain, on äärimmäisen haastavaa arvioida teknologian käyttötapauksia yhden staattisen mallin mukaisesti. Lisäksi ihmisen ja koneen yhteistoiminta tulee olemaan pysyvässä muutoksessa, ja vaatii jatkuvaa tarkastelua.

Tulevaisuuden älykkäiden järjestelmien vastuullinen kehitys vaatiikin ennen kaikkea suunnitelmallisuutta sekä monitieteistä- ja taitoista, ihmiskeskeistä lähestymistapaa, jotta järjestelmät vastaavat. Esimerkkinä tästä Solitan kehittämä Layers of Impact -kehys (alla), tai Utrecht Data Schoolissa kehitetty DEDA-kehys. Tämän kaltaiset työkalut auttavat huomioimaan järjestelmien vaikuttavuuden holistisesti. Kompleksisten, tekoälyohjattujen autonomisten järjestelmien osalta laaja-alainen tarkastelu ja vaikutusten arviointi on välttämätöntä, jotta myös epäsuorat vaikutukset esimerkiksi yksilöiden ja organisaatioiden toimijuuteen ovat haluttuja.

Työkaluja helpottamaan ihmisten ja koneiden yhteistoiminnan arviointia siis on olemassa, ja tällaisten uusien suorituskykyjen tullessa käyttöön kannattaa hyödyntää mahdollisuus

tarkastella toimintaa laajemminkin. Taistelutavat lähitulevaisuuden taistelukentälle saattavat olla meille vaikeita ymmärtää tällä hetkellä, mutta lisääntynyt ihmisten ja koneiden välinen yhteistyö tuo mahdollisuuksia – kunhan kehitys tehdään viisaasti.

Airoldi, M. (2022). Machine Habitus: Toward a Sociology of Algorithms. Medford, MA: Polity Press.

Elish, Madeleine Clare (2019): Moral Crumple Zones: Cautionary Tales in Human-Robot Interaction (pre-print). Engaging Science, Technology, and Society (pre-print),

Laakasuo, M., Palomäki, J., Kunnari, A., Rauhala, S., Drosinou, M.-A., Halonen, J., Lehtonen, N., Koverola, M., Repo, M., Sundvall, J., Visala, A., & Francis, K. B. (2023). Moral psychology of nursing robots: Exploring the role of robots in dilemmas of patient autonomy. European Journal of Social Psychology, 53(1), 108-128.

Pew Research Center. (2023, February 24). The future of human agency. Retrieved from https://www.pewresearch.org/internet/2023/02/24/the-future-of-human-agency/

Stevens, M., Kraaijeveld, S. R., & Sharon, T. (2024). Sphere transgressions: reflecting on the risks of Big Tech expansionism. *Information, Communication & Society*, 1–13.

Stripe Partners. (2023). This month's frame: Building agency. Retrieved from https://stripepartners.substack.com/p/this-months-frame-building-agency

Vorhölter, J. (2024). Agency. In R. Cantave (Ed.), The Open Encyclopedia of Anthropology.

Zuboff, S. (2019). The Age of Surveillance Capitalism. London, UK: Profile Books.

Tilanneymmärrys multidomain-ympäristöstä

Accenture

Tilanneymmärrys multidomain-operaatioympäristöstä edellyttää ihmisen ja koneiden vuorovaikutusta. Tietokoneaikakaudella operatiivinen johtaminen keskittyi isoihin operaatiokeskuksiin, joissa kokonaiskuva monitoimintaoperaatioympäristöstä (MDO) usein siiloutui erillisiksi tilannekuviksi. Kattavaa tilanneymmärrystä ei aina syntynyt. Kompleksisen ympäristön, informaatiotulvan sekä ilmiöiden keskinäisriippuvuuksien esittäminen tekoälytuetun lisätyn todellisuuden (XR) keinoilla mahdollistaa ymmärtämisen – ihmiselle syntyy tulevaisuudessa aiempaa syvempi tilanneymmärrys. Lisäksi teknologia vapauttaa johtamistilojen paikkasidonnaisuudesta ja käytännössä lisää mahdollisuuksia ihmisten väliseen vuorovaikutukseen johtamisprosessien aikana. Samalla taistelukestävyys paranee toimintojen hajauttamisen mahdollistuessa. Teknologia mahdollistaa operatiivisten vaihtoehtojen tarkan mallinnuksen ja sotapelaamisen, jolla edistetään operaatioiden toimeenpanoa. Toisaalta teknologinen kehitys haastaa kyvykkyyden tuottaa tehokas kyberpuolustus johtamisjärjestelmien suojaksi.

Sodankäynnin kehitys 1800- ja 1900-luvuilla johti operaatiotaidon ja operatiivisen tason syntymiseen strategisen ja taktisen tason väliin. Keskeinen tekijä oli kyky siirtää tietoa taktisesta taistelusta ylemmälle johtoportaalle, aluksi läheteillä, torvilla ja merkkilipuilla. 1900-luvulla sähköiset tiedonsiirtovälineet, kuten radiot ja puhelinkaapelit, nopeuttivat ja tehostivat johtamisen nopeutta ja vaikuttavuutta. Yksi komentaja kykeni johtamaan entistä laaja-alaisempia ja hajautettuja sotatoimia tehokkaasti optimoiden resurssien käytön.

Kokemukset erityisesti Persianlahden sodista käynnistivät länsimaissa pohdinnat sodan voittamisen vaatimuksista, johtaen systeemiajattelun vahvistumiseen. Haasteeksi ilmeni kuitenkin operaatioympäristön kompleksisuus ja dynaamisuus. Ympäristöä ei kyetty mallintamaan systeeminä ja eikä vaikuttamisella saavutettu asetettuja operatiivisia tavoitteita.

2020-luvulle tultaessa sodankäynti on johtanut monitoimintaympäristöoperaatioajattelun (Multidomain, MDO) syntymiseen, jossa maa-, meri- ja ilmatoimintaympäristöjen rinnalle ovat nousseet avaruus- ja kybertoimintaympäristöt. MDO määrittää uudella tavalla asevoiman organisoitumista ja toiminnallisuuksia.

Operatiivisen johtamisen peruslainalaisuudet ovat pysyneet samoina lähes 200 vuotta. Suurimmat muutokset ovat koskeneet tiedon siirtämisen nopeutta sekä siirrettävissä olevan informaation määrää ja laatua. Asevoimien operatiiviselle tasolle on rakentunut suuria operaatiokeskuksia, joissa käsitellään valtavia tietomääriä. Informaatiotulvan hallinta ja yhtenäisen tilannekuvan muodostaminen on haastavaa, mikä tekee toiminnan johtamisen kaikissa ympäristöissä keskeiseksi sodankäynnin menestystekijäksi .

Teknologiset haasteet ja ratkaisut - tehokkaaseen tilannetietoisuuteen

Teknologinen kehitys on kasvattanut vuosi vuodelta vaatimuksia operatiivisen johtamisen nopeutta, informaation määrää ja tarkkuutta kohtaan. Jopa siinä määrin, että toimintaa rajoittavina tekijöinä usein pohditaan informaatioähkyä ja ihmisen rajallista kykyä omaksua informaatiota.

Edellä kuvattuihin dilemmoihin etsitään ratkaisuja etenkin tekoälystä ja virtuaaliteknologioista. Tilanneymmärryksen muodostaminen kompleksisesta ja laaja-alaisesta systeemistä edellyttää systeemin mallintamista sekä sen esittämistä ymmärrettävässä muodossa. Vaikeuskerrointa sodankäynnissä lisäävät tarkasteltavien systeemien dynaamisuus ja niissä tapahtuvat jatkuvat muutokset ja muutosten nopeus. Vastustaja ja toimintaympäristö eivät pysähdy paikoilleen vaan muokkautuvat jatkuvasti omien motiiviensa, sodan osapuolten toiminnan ja olosuhteiden vaatimusten mukaisesti.

Tekoälyratkaisut ja etenkin kehittyvät laajat kielimallit (LLM, Large Language Model) voivat tarjota mahdollisuuksia valtavien datamassojen käsittelemiseen ja tiivistämiseen ihmiselle omaksuttavaan muotoon tilanneymmärryksen muodostamiseksi. Tekoälyllä voidaan korvata tietyiltä osin ihmisen tekemää tiedonkäsittelytyötä. Pureksitun informaation perusteella kyetään tekemään mallinnuksia ja verrata aiemmin tehtyihin malleihin. Nämä tukevat arvioiden, ennusteiden ja analyysien tekemistä monimutkaisista ilmiöistä ja systeemeistä.

Rajoitteena voi olla tietokoneiden laskentateholle asetettavat vaatimukset, jotka vaihtelevat tilanteesta riippuen. Yksittäisten koneiden tai perinteisten konesalien teho ei yksinkertaisesti riitä valtavien datamäärien käsittelemiseen. Lisäksi mittavat konesaliinvestoinnit voivat olla valtaosan ajasta vajaakäytöllä. Yhden teknisen ratkaisun ongelmaan tarjoavat pilviratkaisut, joissa laskentateho kerätään verkossa olevilta tietokoneilta ja skaalataan käyttötarpeen mukaan.

Yksi kuva on enemmän kuin tuhat sanaa

Laajennetun todellisuuden teknologiat tarjoavat meille mullistavalla tavalla erilaisia tapoja esittää informaatiota. Kun tietokoneruuduilla ja karttatasoilla informaatio esitetään kaksiulotteisena, MDO:ssa korostuu fyysisen ympäristön kolmiulotteisuus. Virtuaaliympäristössä ihmisen havainnointi ei rajoitu näyttöihin, ruutuihin tai ääneen, jotka ovat fyysisesti samassa tilassa hänen kanssaan. Käyttäjälle voidaan esittää tilannekuvaa moniulotteisesti sisältäen kaiken informaation, jota kyseisessä verkossa on saatavilla ja vielä käyttäjäkohtaisesti räätälöitynä. Tätä kutsumme virtuaaliseksi komentokeskukseksi (Virtual Command Center, VCC) (Ks. kuva 1).

Mallintaminen ja simulointi eivät ole uusi ilmiö sotilaille. Sotilaallista toimintaa on mallinnettu maastolaatikoissa ja karttatasoilla kautta historian.

Accenturen kehittämä VCC näyttäytyy käyttäjälle immersiivisenä käyttöliittymänä. Käyttöliittymiä on erilaisia, käyttäjän toimintaympäristöstä ja tehtävästä riippuen (Ks. esimerkkejä kuvasta 2). Käyttöliittymä mahdollistaa ihmisten välisen vuorovaikutuksen samassa virtuaalisessa tilassa. Käyttöliittymät perustuvat standardipohjaisiin komponentteihin, mikä mahdollistaa uusien tuotteiden ja toiminnallisuuksien lisäämisen elinkaaren aikana. Modulaarisista sovellustoiminnallisuuksista koostuva taustajärjestelmä yhdenmukaistaa VCC:ssä käytettävän datan muodon. Lisäksi se koostaa, yhdistelee ja suodattaa käytössä olevasta kokonaisdatasta käyttäjän esittämien tarpeiden mukaisesti esitettävät asiat. Modulaarisuus mahdollistaa ketterän ja kustannuksiltaan kestävän ylläpidon. Taustajärjestelmän kollaboraatiotoiminnallisuudet luovat käyttäjien väliset yhteydet ja tietovirrat. VCC-taustajärjestelmässä käsiteltävä data on asevoimien eri lähteistä keräämää, ihan kuten perinteisissä operaatiokeskuksissa. (Ks. arkkitehtuurikuva).

Virtuaalisen komentokeskuksen ensisijainen tarkoitus on olla MDO-ympäristössä sotilasoperaatioita suunnittelevien ja toimeenpanevien johtajien työkalu. Laskentakyvyn ja mallintamisen avulla käytössä on uudenlaisia työkaluja, kuten erilaisten toimintavaihtoehtojen arviointi visualisoitujen simulaatioiden avulla. Arvioitaessa toimintavaihtoehtoja ne ideaalitilanteessa sotapelataan. VCC:ssä toimintavaihtoehtoja

voidaan testata nopeutetuilla simulaatioilla ja optimiratkaisua voidaan haarukoida tekemällä muutoksia käytettäviin mallinnuksiin tai toimintavaihtoehtoihin. Simulaatioiden hyödyntäminen edellyttää kuitenkin ihmisiltä osaamista ja ymmärrystä simulaation aritmetiikkaan. Komentajan pitää edelleen kyetä perustelemaan päätöksensä ainakin itselleen, eikä simulaation tulokset ole kuin yksi asiantuntijanäkemys muiden joukossa.

Reaaliaikaisen tilanneymmärryksen muodostamisen haasteet VCC:ssä ovat samankaltaisia kuin aiemmissa tilannekuvissa. Ydinkysymys on, mistä ja miten reaaliaikainen tilannedata saadaan kerättyä. Järjestelmien ja toimijoiden lisääntyvä verkostoituminen tuottaa jatkuvasti kasvavan määrän dataa ja informaatiota tilanneymmärryksen muodostamiseksi. Silti meidän on edelleen siedettävä viiveitä, epätarkkuuksia, puutteita ja jopa virheellistä tietoa, mikä hankaloittaa tilanneymmärryksen muodostamista. Tätä puutetta voidaan yrittää osittain korvata arvioilla, kuten ennenkin. Koneavusteinen mallinnus, simulaatio ja tekoäly parantavat arvioiden osumatarkkuutta, mutta erehtymisen riski on silti olemassa.

Virtuaalisen esittämisen hyötyjä on myös paikkariippumattomuus. Kymmenien näyttöjen operaatiokeskuksen informaatio voidaan siirtää virtuaalisesti esitettäväksi panssaroituun ajoneuvoon, henkilöauton takapenkille, lentokoneen matkustamoon tai maastoon taistelevien joukkojen välittömään läheisyyteen. Lisäksi teknologia tekee virtuaaliympäristössä tapahtuvasta ihmisten välisestä vuorovaikutuksesta jatkuvasti luontevampaa, ja me opimme myös kommunikoimaan uudessa ympäristössä ja uusilla välineillä. Silti taustalla tarvitaan edelleen esikuntien ja keskusten toiminnot, joissa ihmiset asiantuntijoina tuottavat oman osuutensa MDO-operaatiosuunnitelmista ja sisällyttävät oman näkemyksensä MDO-tilanneymmärrykseen.

Uusien teknologioiden käyttöönotto on väistämätön trendi, ja varmasti välttämättömyys myös sodankäynnissä. Tilanneymmärryksen muodostamisen ja sotilasoperaatioiden suunnittelun ja johtamisen kannalta korostuvat käytösvasä olevan datan käsittely ja esittäminen, sekä toimintojen mallintaminen ja simulointi toiminnan ennakoimisen mahdollistamiseksi. Tämä tapahtuu tulevaisuudessa yhä lisääntyvällä ihmisen ja koneen välisellä vuoroikutuksella.

Kyberkyvykkyys on välttämättömyys

Kybertilannekuva linkittyy osaksi taistelutilan tilannekuvan ylläpitoa ja virtuaalista johtokeskusta sekä sen MDO-kokonaistilannekuvaa. Tilannekuva ja tiedon jakaminen luovat perustan myös kyberturvallisuuden ylläpitämiselle. Yleisesti kyberkyvykkään organisaation tulee rakentaa tiedon jakamiseen neljän tasoiset toiminnot: (1) tekninen tieto, (2) taktinen tieto, (3) operatiivinen tieto sekä (4) strateginen tieto. Kaikkien tasojen tiedolle tulisi rakentaa menettelytavat ja verkostot. (NATO CCDCOE, 2020, 183.)

Kokonaisvaltaisen hallinnan ja eri tasoisten toimintojen ohjaaminen on suuri haaste nykyaikaisille organisaatioille, joissa kehityksen myötä tarpeet kasvavat ja muuttuvat. Kybertoimintaympäristön, ja erityisesti puolustuksen, täytyy kyetä rakentamaan malleja, joilla eri tasojen toimintaa ohjataan. Samalla täytyy kyetä varmistamaan kokonaiskuvan johtaminen. Naton nopean toiminnan joukko-osasto Italiassa (NRDC-ITA) on esimerkiksi rakentanut oman puolustuksensa kybertoimintaympäristön osalta yhdistetyn ja integroidun johtamismallin, jossa johdon alla on kolme toimintoa:

- C4 Command, Control, Communications sekä Computers / ICT
- Turvallisuus ja kyberturvallisuus
- Kyberoperaatiot

Tässä rakenteessa C4 vastaa johtamisesta ja tilannekuvasta yhdistäen verkkovalvontakeskuksen (NOC), tietoturvavalvonta-keskuksen (SOC) sekä infrastruktuurivalvontakeskuksen (IOC) saman johdon alaisuuteen, mutta kuitenkin erillisinä kyvykkyyksinä. Turvallisuus ja kyberturvallisuus toimivat koko puolustustoimialan CERT-vastuullisena ja

kyberoperaatiot toteuttavat täyden spektrin vastatoimia erilaisia uhkia ja vihamielistä toimintaa vastaan, jotka kohdistuvat puolustuksen verkkoihin, järjestelmiin ja palveluihin. Virtuaalinen johtokeskus on operatiivisen johtamisen keskeinen väline ja vaatii vahvan kybersuojan. (NRDC-Ita insights.)

Virtuaalisen johtokeskuksen turvaamisessa voidaan hyödyntää esimerkiksi Zero Trust -lähestymistapaa, jossa suojaukset rakennetaan datalähtöisesti ja luottamukseen liittyvät oletukset puretaan. Accenturen hyödyntämä Zero Trust -lähestymistapa on esitetty kuvassa alla. Zero trust -tietoturvamalli perustuu siihen, että millään, ei käyttäjillä eikä laitteilla, ole oletusarvioisesti luottamusta ottaa yhteyksiä tai hyödyntää verkon resursseja. Dataa suojataan monitasoisesti, lähtien organisaation tarpeesta tunnistaa tietovuodot, luokitella data ja tunnistaa suojaustarpeet. Zero Trust -hallinta rakentuu identiteettien, päätelaitteiden, tietoverkkojen, sovellusten ja datan hallinnalle, jota ohjataan reaaliaikaisella analytiikalla ja kontrollien automaattisella pakottamisella. Näin kyberpuolustus voi hyödyntää samoja kyvykkyyksiä, mitä itse virtuaalisen komentokeskuksen rakentamisessa hyödynnetään. (Accenture, 2022.)

Kybertoimintaympäristöä pidetään voimaker---……toimena (force multiplier) muiden toimintaympäristöjen kyvykkyyksille. Sen syvällisempi integraatio toimintaympäristön sisällä, sekä niiden välillä, mahdollistaa vastapuolen strategioiden ja toimintamahdollisuuksien tehokkaan torjunnan. Perinteinen joint-ajattelu ei enää riitä, vaan kyber- ja avaruustoimintaympäristöjen myötä vaaditaan uutta ajattelua. MDO-ajatusmaailman keskeinen tavoite onkin varautua tulevaisuuden integroitujen operaatioiden vaatimuksiin läpi kokonaisspektrin, purkaa eri toimialuekyvykkyyksien välisiä siiloja, sekä kybertoimintaympäristön osalta ymmärtää, kuinka se tukee kaikkia muita kyvykkyyksiä IT:n hyödyntämisen, digitalisaation ja etenevän verkottumisen kautta. Näin kyvykkyydet ja toimintaympäristöt, joiden ajateltiin toimivan tukiroolissa, tukeekin keskeisiä voimankäytön kohdistamisen välineitä. (Freedberg, 2018.)

Lopuksi

Mitä kehityksellä saavutetaan? Parempi tilanneymmärrys ja suunnittelun tukeminen simulaatiomallinnuksilla ei muuta sodankäynnin sisältöä tai tarkoitusta. Sodankäynnin ydin on edelleen vastustajan taistelutahdon nujertaminen, johon yksi suorimmista reiteistä on vastustajan taistelukyvyn heikentäminen. Toisin sanoen tappioiden tuottaminen. Puolustusvoimien ääneen lausuttu tavoite on kyetä tekemään vaikuttamispäätös 90 sekunnissa sensorin tekemästä havainnosta. Tavoite edellyttää tietysti tiedonsiirron nopeutta, mutta merkityksellinen ja hyvä päätös edellyttää ennen kaikkea oikeaa ja riittävän tarkkaa tilanneymmärrystä. Virtuaalisen komentokeskuksen esitys- ja johtamisvälineet mahdollistavat päätöksenteon eli OODA-luupin nopeuttamisen.

Lähteitä:

B.A.Friedman On Operations – Operational art and military disciplines. Naval Institute Press 2021

Multi-Domain Operations in NATO-Explained. https://www.act.nato.int/article/mdo-in-nato-explained/

Accenture, 2022. Cybersecurity for Connected Energy Ecosystems. (Saatavilla: https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/pdf/pdf-177/accenture-cybersecurtiy-for-connected-energy-ecosystems.pdf)

Freedberg, S. (Joulukuu 2018) Army Multi-Domain Update: New HQs, Grey Zones & The Art of the Unfeasible. Breaking Defense. Saatavilla 16.09.2024: https://breakingdefense.com/2018/12/army-multi-domain-update-new-hqsgrey-zones-the-art-of-the-unfeasible/ .

The Evolution of Operational Art, Oxford University Press, 2011. Edited by John Andrea Ohlsen and Martin van Creveld

Nato CCDCOE, 2020: “Cyber Threats and NATO 2030: Horizon Scanning and Analysis”

NRDC-Ita insights: “Integrating the cyber domain in multi-domain operations” (Saatavilla 16.09.2024: https://www.nrdc-ita.nato.int/newsroom/insights/integrating-the-cyber-domain-in-multi-domain-operations)

New York Times 26.4.2010: We Have Met the Enemy and He Is PowerPoint

Tulevaisuuden EO-sensori on älykäs, oppiva ja verkottunut

Senop Oy:n kehittämä AFCD TI älytähtäin parantaa osumatarkkuutta kaikkina vuorokaudenaikoina valaistusolosuhteista riippumatta. Kuva: Senop Oy

Johdanto

Elektro-optiset (EO) sensorit ovat keskeinen osa modernin sotajoukon varustusta. Niiden avulla parannetaan joukon tilannetietoisuutta ja vaikuttamiskykyä viholliseen. EO-sensoreita käytetään niin erillisinä tähystys-, valvonta- ja maalinosoituslaitteina kuin osana asejärjestelmiä. Asejärjestelmissä EO-sensorit voivat olla kiinteästi integroituja (esim. EO-hakupäät ohjuksissa) tai aseeseen tai asejärjestelmään kiinnitettyjä tähtäimiä/maalinosoituslaitteita.

EO-sensorien avulla operaattori kykenee näkemään pidemmälle kuin paljaalla silmällä ja havaitsemaan, luokittelemaan ja tunnistamaan kohteita pitkiltäkin etäisyyksiltä ja haastavissa sääolosuhteissa. Mutta ehkä keskeisin EO-sensorin etu taistelukentällä on se, että ne ovat passiivisia, eli ne eivät lähetä signaaleja, joita vihollinen voisi havaita.

EO-sensorit nykypäivänä

Nykypäivän taistelukentällä yksittäisen sotilaan käyttämä valonvahvistin on yleisin EO-sensori. Valonvahvistimia käytetään tähystämiseen, liikkumiseen ja taistelutoimintaan pimeällä. Lämpökuvantavat tähystimet ja tähtäimet ovat yleistyneet taistelijoiden varustuksessa. Tulenjohtajilla on käytössään maalinpaikannuslaitteita, joiden avulla maalin koordinaatit kyetään määrittämään automaattisesti ja toimittamaan tulikomentoina tuliyksiköille.

Vaikka pääosa sotilaiden käyttämistä sensoriratkaisuista ovat perinteisiä, niin vähitellen myös älykkäät tähtäinratkaisut ovat yleistymässä. Näistä voidaan mainita yhdysvaltalainen Vortex:n valmistama ”Next Generation Squad Weapon-Fire Control” (NGSW-FC), joka on valittu USA:n maavoimien keveiden aseiden tähtäimeksi ja Senop Oy:n kehittämä AFCD-

TI, joka on tarkoitettu singon älykkääksi tähtäinjärjestelmäksi. Näissä älykkäissä ratkaisuissa tähtäimeen on integroitu useita kehittyneitä tekniikoita, mukaan lukien laseretäisyysmittari, ballistinen laskin, sääanturipaketti, kompassi, langattomat yhteydet, sekä digitaalinen näyttö.

Perinteiset miehittämättömät lentolaitteet on varustettu kehittyneillä ja suorituskykyisillä sensoripaketeilla, ja tämä on ennen ollut suoraan verrannollinen järjestelmien hintaan. Ukrainan sota on tuonut miehittämättömät järjestelmät aiempaa laajempaan, voidaan sanoa jopa massamaiseen, käyttöön sotilasoperaatioissa. Yksittäisillä jalkaväkiryhmillä on Ukrainan asevoimilla käytössään halpoja tiedustelu- ja vaikuttamisdrooneja. Lentävien laitteiden lisäksi Ukraina on kehittänyt enenevässä määrin niin maalla kuin vedessä kulkevia miehittämättömiä järjestelmiä. Nämä kaikki vaativat EO-sensorin, jotta laitetta voidaan ohjata tai havainnoida taistelualuetta. Massamaisesti käytettävissä miehittämättömissä laitteissa EO-sensorien on oltava edullisia ja esimerkiksi kuvan laadusta voidaan tinkiä, kunhan se on tehtävän kannalta vain riittävä. Tässä tapauksessa voidaan todeta, että määrä on laatua.

EO-sensorit tulevaisuudessa

Optiikan ja optoelektroniikan nopea kehittyminen mahdollistaa nykyistä pienempien ja ominaisuuksiltaan suorituskykyisempien EO-laitteiden kehittämisen. Laitteessa käytettävä optiikka määrittää käytännössä sen koon ja massan. Mitä hämärämmässä EO-laitteen tulee toimia, tai mitä kauemmaksi sillä tulee kyetä havainnoimaan, sitä suuremmaksi tulevat optiset komponentit. Optisten komponenttien koko ja massa vaikuttavat laitteen mekaniikkaan, käytettävyyteen, tarkkuuteen, valmistettavuuteen ja kestävyyteen.

Optisten komponenttien osalta linsseissä ollaan siirtymässä kokonaan pallolinsseistä asfääri- ja vapaamuotoisiin optiikoihin. Ne mahdollistavat optisten elementtien koon pienentämisen jopa puoleen nykyisestä. Kokonaan uutena teknologiana on optisiin laitteisiin tulossa metaoptiikka, joka mahdollistaa ohuiden, millimetrien vahvuisten, optiikoiden valmistamisen. Myös diffraktiivisen optiikkaan hologrammeihin perustuvien komponenttien käyttö lisääntyy EO-laitteiden näytöissä ja okulaareissa. Säteenjakajien sijaan tullaan käyttämään optista aaltojohdetta. Seuraavan vuosikymmen aikana nämä uudet teknologiat tulevat yleistymään sotilasoptiikassa.

Yllä mainitun lisäksi optisissa komponenteissa käytettävät materiaalit ovat kehittyneet nopeasti. Uudet optiset materiaalit ovat aiempaa kevyempiä ja ne toimivat laajemmalla aallonpituusalueella. Uusien materiaalien fyysiset ja kemialliset ominaisuudet, kuten kestävyys, lämpötila- ja kosteudenvaihteluiden sieto ovat myös hyviä. Näiden lisäksi uudet materiaalit ovat helpompia valmistaa ja siten edullisempia kuin nykyisin käytettävät materiaalit.

Modernien EO-laitteiden tulee toimia useilla eri aallonpituusalueilla, kuten VIS, NIR, SWIR ja IR (joko MW tai LW). Perinteisesti tähtäimessä tai tähystimessä on ollut yhtä monta sensoria kuin on käytettäviä aallonpituusalueita. Sensoriteknologian kehitys mahdollistaa useamman aallonpituusalueen yhdistämisen samalle sensorille, mikä vähentää tarvittavien optisten kanavien lukumäärää ja pienentää tähtäimen kokoa. Sensoreiden tuottamaa informaatiota on nykyisillä elektroniikka- ja ohjelmistoratkaisuilla mahdollista fuusioida yhteen näkymään, joka parantaa käyttäjän toimintakykyä ja tehostaa kohteiden havainnointia.

Tulevaisuudessa EO-laitteiden toimintaa on mahdollista parantaa lisäämällä niihin spektritietoa tallentava sensori, eli hyperspektrikamera. Hyperspektrikameroiden uudet teknologiset ratkaisut, kuten MEMS filtterit tai uudet laskennalliset menetelmät mahdollistavat entistä pienempien laitteiden kehittämisen. Spektritiedon avulla on mahdollista tuoda lisää informaatiota konenäön ja hahmontunnistuksen tueksi, jolloin kohteita voidaan havainnoida niiden muodon lisäksi, niiden tunnistettavien materiaalien perusteella. VIS- IR alueen hyperspektridatalla on mahdollista erottaa

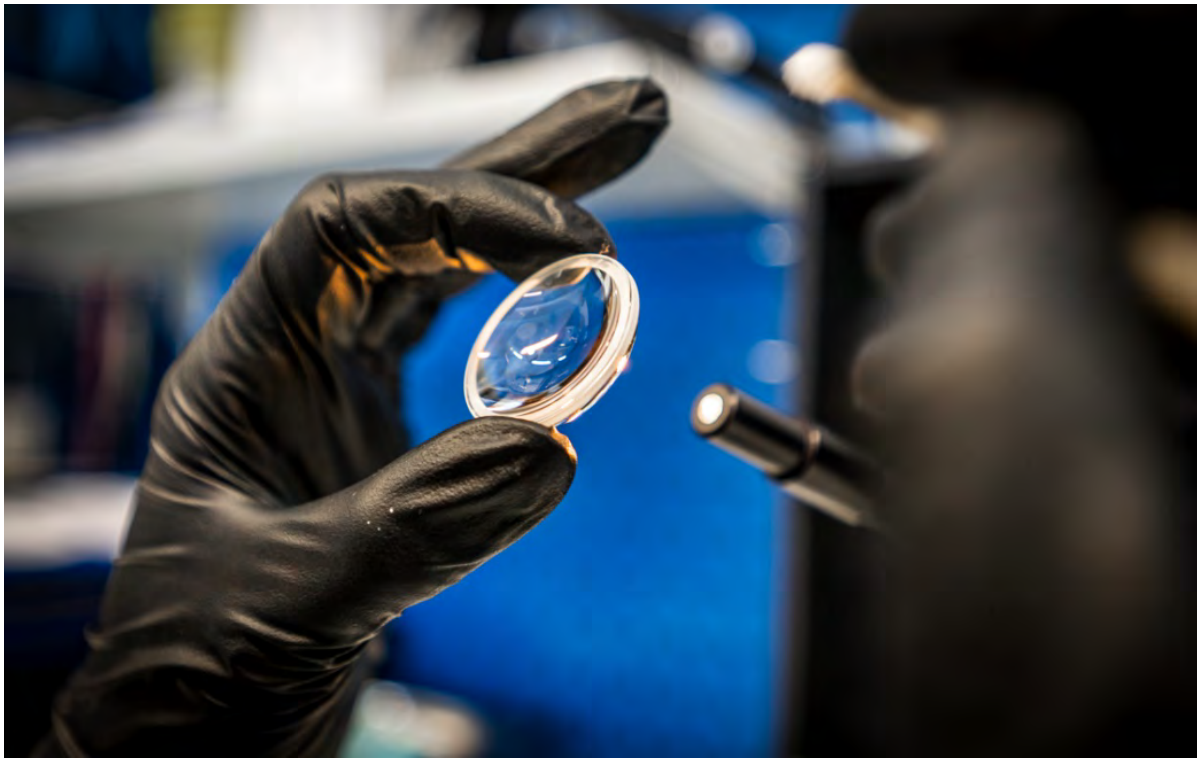
epäorgaaniset ja orgaaniset materiaalit hyvin tehokkaasti, jolloin esim. ajoneuvojen tunnistamisen varmuus parantuu.

Tekoälyn ja konenäön lisääminen kiinteäksi osaksi EO-sensorijärjestelmää mahdollistaa automaattisen kohteiden havaitsemisen ja tunnistamisen. Tällä ominaisuudella kyetään pienentämään operaattorin rasitusta, kun kone itsessään seuloo kriittisiä kohteita valvonta-alueeltaan. Tekoälyä voidaan opettaa ja laitetta voidaan evästää uusimilla vihollistunnisteilla myös sotatoimien aikana.

Tulevaisuudessa sensorit ovat verkottuneet keskenään ja niiden avulla voidaan jakaa tilannekuvaa ja maalitietoa. Tämä mahdollistaa optimaalisen vaikuttamisen nopeasti kehittyvässä tilanteessa.

Teknologia kehittyy, mutta sodankäynnin peruslainalaisuudet tulevat säilymään. Laitteita käytetään vaativissa olosuhteissa ja rikkoutuneena paraskaan teknologinen ratkaisu ei tue taistelevan joukon suorituskykyä. Tämän vuoksi EO-sensorijärjestelmien kestävyys, käytettävyys ja yksinkertaisuus tulevat olemaan keskiössä myös tulevaisuudessa. Vain toimivalla järjestelmällä voidaan voittaa taistelu.

Kirjoittaja: evl evp. Matti Honkela, joka toimii neuvonantajana (Senior Advisor) Senop Oy:ssä.



Asfäärilinssit mahdolliset optisten elementtien koon pienentämisen. Kuva: Senop Oy

Drone-operaatioiden ja tilannekuvan parantaminen immersiivisten teknologioiden avulla

AirHUD:illa on kaksi innovatiivista tuotetta, AirHUD™ ja AirSkill. AirHUD™ on ensimmäinen Heads-up Display -järjestelmä ammattimaisille dronepiloteille, joka on kehitetty auttamaan dronepilotteja noudattamaan säädöksiä dronen turvallisen lennättämisen mahdollistamiseksi. AirSkill on helppokäyttöinen dronepilottien koulutukseen tarkoitettu virtuaalitodellisuussimulaattori, joka toimii oikealla dronen kauko-ohjaimella ja täysin langattomasti.

AirHUD™ tarjoaa täysin ainutlaatuisen ja patentoidun ratkaisun dronen lennättämiseen. Lisätyn todellisuuden (Augmented Reality, AR) lasien näytölle visualisoidaan dronepilotille tärkeät tiedot, kuten dronen sijainti jopa esteiden takana, etäisyys, lentokorkeus ja niin edelleen, eli pilotti pystyy näkemään dronen sijainnin ja muun tärkeän informaation aina taivaalla, siellä missä dronekin on. Nopeasti yleistyneet First Person View (FPV) -lasit dronepiloteille sulkevat täysin pilotin ulkomaailmasta, kun taas AirHUD™ mahdollistaa sekä FPV-videon näkemisen että koko muun ympäristön havainnoinin yhtäaikaisesti, lisäten huomattavasti turvallisuutta. AirHUD™ tukee tärkeimpiä ulkokäyttöön kykeneviä moderneja AR ja VR (Virtual Reality) -laseja, eli mm. MicrosoP HoloLens 2, Trimble XR10 ja Meta Quest Pro sekä Quest 3 -malleja.

”Ratkaisumme avulla pilotit voivat suorittaa yölentoja ja BVLOS-lentoja (Beyond Visual Line of Sight), ja se pystyy näyttämään pilotille myös muita tärkeitä parametreja, kuten etäisyyden lähimpään rakennukseen ja ilmatilatietoa, kuten lentokieltoalueet. Turvallisuus ja tilannetietoisuus ovat välittömiä hyötyjä, jotka näkyvät operaatioiden kustannustehokkuutena”, kuvailee AirHUD:in toimitusjohtaja Hannu Lesonen.

Uudenlainen simulaatiokoulutus drone-operaattoreille

AirSkill on uusi, helppokäyttöinen simulaattori ammattimaisiksi dronepiloteiksi koulutettaville, esimerkiksi viranomais- ja pelastuspuolen toimijoille ja reserviläisille. Eräs ka-nsainvälinen koulutuspalvelujen tarjoaja, testattuaan ensimmäisen kerran AirSkillsim--ulaattoria, totesikin:

-”Meidän pitäisi aloittaa neuvottelut lainsäätäjiemme kanssa, jotta tämä sertifioitaisiin viralliseksi dronepilottien koulutusvälineeksi.”

Simulaattorissa yhdistyvät virtuaalitodellisuuslasit (Meta Quest Pro tai 3 -VR-lasit) ja oikea droneohjain (esimerkiksi DJI RC Pro), sekä eri alakohtaiset koulutusskenaariot. Simulaatiokoulutuksessa pystytään harjoittelemaan sekä tärkeitä peruslentotaitoja että erilaisia ongelmatilanteita, joita kouluttaja voi hallita koulutuksen aikana. Simulaattoriharjoitus voidaan myös toistaa, ja näin nähdä miten lennättäjä on reagoinut yllättäviin tilanteisiin, esimerkiksi satelliittisignaalin katoamiseen tai puuskaiseen tuuleen. Kaikki skenaariot ovat todentuntuisia ja niitä kehitetään yhdessä eri tahojen viranomaisten,

palolaitosten ja drone-akatemioiden kanssa.

Dronepilottien koulutus on osoittautunut haastavaksi, koska siihen liittyy aina materiaali- ja henkilövahinkojen riski. Usein myös aikataulujen yhteensovittaminen ja sää estävät lennättämisen. Kehittämämme dronepilottien simulaatioharjoittelu parantaa dronepilottikoulutuksen jatkuvuutta, laatua, ja tehokkuutta verrattuna siihen, että harjoiteltaisiin vain 2D-simulaattorilla, ilman oikeaa ohjainta, tai pelkästään halvoilla markettidroneilla.

Kun erilaisia tilanteita on harjoiteltu AirSkill-harjoittelulla, oikean ohjaimen kanssa, vaativaan ammattikäyttöön tarkoitetun dronen lennättäminen sujuu paremmin ja pilotilla on tärkeää luottamusta osaamiseensa. Kun operaatioissa käytetään vielä lisäksi AirHUD™ Heads-up Display -järjestelmää, se sekä parantaa tilannekuvaa että lisää turvallisuutta merkittävästi.

Maalin ilmaisu dronella ja AR-teknologialla

Sekä turvallisuus- että pelastusoperaatioissa tilannekuva ja kohteen tunnistaminen ovat keskeisiä tekijöitä operaation onnistumiselle. AirHUD:in ja suomalaisen Rumble Tools -dronevalmistajan yhteisprojekti, Project See Through Everything Technology, vei dronella tehtävän kohteen tunnistamisen ja maalituksen täysin uudelle tasolle.

Rumble Toolsin telakka-asemaa käyttävän dronen sisäänrakennetun konenäön avulla drone voi automaattisesti tunnistaa sekä ajoneuvoja että henkilöitä. Kun drone on taivaalla ja tunnistaa kohteen, AirHUD™:in avulla näytetään kohteen sijainti sekä suhteessa droneen, että suhteessa AR-laseja käyttävään henkilöön. Kohteen sijainti pystytään näyttämään tarkasti, vaikka tämä olisi esimerkiksi rakennuksen takana.

Parempaa jaettua tilannetietoisuutta AR-laseilla

Suora digitazalisen kaksosen ja dronen informaation zyhdistäminen mahdollistaa myös etäisyyksien mittaamisen ja kiinnostavan kohteen merkkaamisen suoraan dronen videokuvasta oikeaan maailman sijaintiin.

Toimitusjohtaja Hannu Lesonen kommentoi;

”Käyttäjä voi osoittaa dronen videosyötteessä näkyvää kohdetta, jolloin kohteen sijainti voidaan digitaalisen kaksosen avulla tuoda näkyville lisätyn todellisuuden laseilla oikeassa reaalimaailman paikassa, ja siitä saadaan samalla tarvittavat paikannustiedot. Tämä tieto voidaan sitten jakaa muulle ryhmälle.”

Nämä ovat vain muutamia esimerkkejä siitä, miten myös autonomisten dronejen operaattorit, muiden etäohjattavien järjestelmien käyttäjät ja johtokeskukset voivat hyötyä AirHUD™:n tarjoamasta tilannetietoisuudesta.

AirHUD™ voi myös helpottaa ongelmatilanteessa semi- tai täysin autonomisen dronen haltuunottoa, olipa se maalla, meressä tai ilmassa kulkeva, ja auttaa ratkaisemaan mahdollisen vaaratilanteen turvallisesti, koska tilanne ymmärretään paremmin lisätyn ja / tai virtuaalitodellisuuden avulla.

Ajatuksia miehittämättömien järjestelmien operoinnista

Kirjoittaneet tutkimusinsinööri (insylil) Timo Lampinen ja erikoistutkija (DI) Tatu Tahkokallio, Maavoimien tutkimuskeskus.

Jos keskiössä ovat tulevaisuuden miehittämättömät järjestelmät ja autonomia, miksi keskittyä ihmisoperaattoriin? Kuka muu voisi paremmin analysoida tietyn UxV ajoneuvon operatiivista suorituskykyä ja vaatimuksia kuin kattavan käyttökokemuksen kerännyt operaattori?

Päätöksien tekijänä ihminen ja kone

Oli kyse sitten yksittäisen miehittämättömän järjestelmän tai drooniparven operoinnista, ihmisoperaattori tulee säilymään mukana päätöksenteossa (Human-In-The-Loop, HIL).

Autonomisten järjestelmien tämän hetken suorituskykykehitys viittaa vahvasti siihen, ettei järjestelmien toiminnassa päästä toistaiseksi täysin irti päätöksenteossa ja toiminnanohjauksessa tarvittavasta ihmisestä. Autonomian suorituskyvyn kehitys ja jalostuminen, erityisesti maa-ajoneuvojen parissa vaatii oman aikansa. Vähintäänkin operaatioiden suunnittelu, konfigurointi, seuranta ja ongelmatilanteiden reagointi vaativat vielä jatkossakin ihmisoperaattoria.

Miehittämättömien järjestelmien (jatkossa UxV, esim. UGV=Unmanned Ground Vehicle) operointia analysoitaessa tarkastelu painottuu usein ajoneuvon liikkumiskykyyn ja navigointiin. UxV-ajoneuvojen käyttötapojen ja -tapausten monimuotoistuessa on kuitenkin väistämätöntä, että hyötykuorman ja toimilaitteiden

operoinnin rooli nousee merkittävästi. Tämä asettaa uusia vaatimuksia operaattoreille koska ajoneuvon operointi ei enää koostu pelkästään navigoinnista ja liikkuvuudesta vaan esimerkiksi taistelussa vaadittavasta asejärjestelmällä vaikuttamisesta ja taktisesta toiminnasta. Pitäisikin pyrkiä ajatuksellisesti kohti liukuvaa autonomiaa (eng. sliding autonomy) missä ihmisoperaattorin ja järjestelmän autonominen päätöksenteko sekä toiminnan vuorottelu tapahtuvat saumattomasti ja usein eri päätöksenteon tasoilla lomittuen. Päätöksentekoa ja toimintojen ohjausta voi tapahtua eri tasoilla myös samanaikaisesti esim. liikkeeseen, tilannetietoisuuteen tai hyötykuormien (toimilaitteiden) operointiin keskittyen.

Useiden eri maiden asevoimat ovat jo tässä vaiheessa lähteneet rakentamaan miehittämättömien järjestelmien suorituskykyihin pohjautuvia operatiivisia joukkoja. Tämä on konkretisoitunut muun muassa siten, että eräät asevoimat ovat jo alkaneet kouluttaa päätehtävänään UxV-operaattoreina toimivia sotilaita.

Suorituskyvyn rakentaminen. Uutta suorituskykyä rakennettaessa tulevien järjestelmien pääkäyttäjinä operaattoreilla tulisi olla keskeinen rooli käyttötapausten ja vaatimusten muodostamisessa. Osaamispohjaa operaattoreille voidaan hankkia esimerkiksi tekemällä alustavia tutkimuksia ja kenttäkokeita vaihtoehtoisilla, potentiaalisilla järjestelmillä. Samalla rakennetaan myös itse operaattoreiden ammattitaitoa. Tulevat operaattorit voivat myös vastata järjestelmien testaustoiminnan suunnittelusta ja ohjauksesta. Hankintavaiheen jälkeen suorituskyvyn rakentaminen voi jatkua esimerkiksi tutkimuksellisilla kenttäkokeilla, joilla varmennetaan järjestelmien todellinen operatiivinen ja taktinen suorituskyky hankituilla järjestelmillä. Kenttäkokeissa operaattorit voivat vastata ajoneuvojen käytännön operoinnista ja huollosta, testiskenaarioiden toteutuksesta, ennakko- ja jälkibrieffien sisällöstä sekä osallistua tulosten analysointiin.

Esimerkkejä UGV-ajoneuvojen ohjaimista. Vasemmalla yksinkertaistettu liikuttamiseen tarkoitettu väline, keskellä otekouralle räätälöity pistooliohjain, oikealla 360-näkymän tarjoava VR-ohjain. Lähde Maavoimien tutkimuskeskus.

UxV-operaattorin tehtäväkenttä

UxV-operaattoreiden tehtävät muotoutuvat tapauskohtaisesti käsiteltävän järjestelmän määrääminä. Seuraavassa käsitellään kuvitteellisen UxV-ajoneuvon operaattorin mahdollisia työtehtäviä, analyysin painottuessa maalla liikkuviin UGV-ajoneuvoihin.

Tehtävän suorittaminen. UxV-järjestelmän operointi tehtävässä voidaan nähdä kahtena ajallisena kokonaisuutena: suunnitteluvaiheena

ja tehtävänaikaisena toimintana. Tehtävien suunnitteluvaihe koostuu operaatio- ja tehtäväkohtaisesta suunnittelusta ja valmistelusta. Tämä kattaa mm. reittisuunnittelun, autonomian, valmistelevan huollon ja hyötykuormien valmistelun.

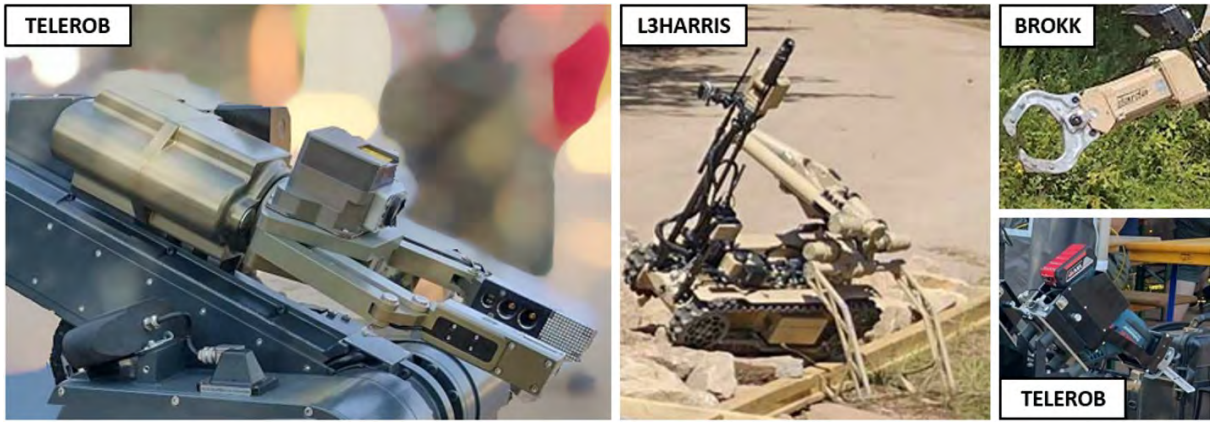
Tehtävänaikainen vaihe koostuu kolmesta erillisestä toimintamallista. UxV-järjestelmän autonomisessa toimintavaiheessa ajoneuvo etenee tehtävän mukaisesti ja vastaa omasta ohjauksestaan ja päätöksenteosta. Mikäli toiminta tai tilannekehitys vaatii operaattorin etäohjausta, voidaan se toteuttaa joko etäasemalta sensoritiedon perusteella tai ajoneuvon lähettyviltä erillisen kaukokäyttöohjaimen (”pelikonsoliohjain”) avulla.

Operaattorin puuttumista vaativia tapahtumia voivat olla olosuhteiden tai tilanteen pakottama tehtäväparametrien muutos kuten etenemisreitin muutokset (esim. umpikuja, ajautuminen, maastonmuutos tai GNSS-häirintä), tilannetietoihin perustuva reagointi (esim. yllättävä havainto) tai tehtävän eteneminen ennalta määritettyyn kulminaatiopisteeseen.

Jatkuva, pitkäkestoinen ja päätoiminen operointi luo vahvaa osaamispohjaa järjestelmän erilaisista kyvyistä ja vaatimuksista.

Operoinnin hyötykuormat ja toimilaitteet. Järjestelmien hyötykuormien (sensorit, toimilaitteet tai vaikuttimet) kehittyminen tulee muodostamaan lisävaatimuksia operaattorille. Toimilaitteiden operointi tapahtuu usein ajoneuvon liikkeen kanssa samanaikaisesti mikä vaatii kokemuksen tuomaa harjaantumista. Toimilaitteista kaikki eivät toistaiseksi toimi autonomian ja tekoälyn ohjaamina.

Ihmisoperaattorin vahvuutena tekoälyyn nähden on edelleen parempi kokonaistilanteen hahmottaminen ja soveltamiskyky erityisesti tarkkuutta vaativissa tehtävissä. Samaan aikaan myös operointiin käytettävät hallintalaitteet kehittyvät.



Esimerkkejä erityisesti räjähteiden purkuun ja urbaaniin tiedusteluun suunnattujen UGV ajo-neuvojen perinteisistä toimilaitteista (pihtejä, kouria, poria, sahoja jne.). Lähde Maavoimien tutkimuskeskus.