



FOI MEMO

Projekt/Project Sidnr/Page no
Obemannade farkoster och autonoma system – teknik och operatör 1 (16)

Projektnummer/Project no Uppdragsgivare/Client
E38506 Försvarsmakten

FoT-område
Temaområde

Författare/Author Datum/Date Memo nummer/Number
J. Rantakokko (red.), A. Andersson, E. Branzén, 2023-12-05 FOI Memo 8332
M. Gelin, J. Hamberg, F. Kullander, K. Lagerkvist
Blomqvist, E. Lindgren, J. Nygårds, P. Strömbäck,
T. Wiik

Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Innehållsförteckning

1	Introduktion	2
2	Projektbeskrivning	2
3	MUM-T på markarenan	3
	3.1 Gränssnitt	3
	3.2 Metodutveckling	3
4	Juridiska och etiska frågeställningar	4
	4.1 Rättsutvecklingen inom LAWS	4
	4.2 Användning av UCAV utifrån gällande rätt	6
5	Säkerhetskritiska autonoma funktioner	6
	5.1 Feldetektion och felhantering	6
	5.2 Självkörande funktioner för UGV	7
	5.3 Hinderupptäckt och hinderundvikande	8
6	Taktiska autonoma funktioner	8
	6.1 Uppdragsautonomi	9
	6.2 Sensoråterkopplad styrning	9
7	Möjliggörande tekniker	10
	7.1 Laserkommunikation	10
	7.2 Referensdataset och benchmarking	11
	7.3 Terrängnavigering	12
8	Övriga aktiviteter	14
9	Sammanfattande diskussion	15
	Referenser	16

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number
FOI Memo 8332

1 Introduktion

Obemannade farkoster utgör en allt viktigare del i militära konflikter. Detta exemplifieras inte minst i Ukraina där både Ukraina och Ryssland använder sig av obemannade farkoster i en betydande omfattning. Ukraina har genom stor flexibilitet och tekniska innovationer med begränsade resurser utvecklat teknik och anpassat metod så att de uppnår avsevärda asymmetriska fördelar på slagfältet. De använder både utländska och inhemska utvecklade UAV:er (eng. Unmanned Aerial Vehicle), och inhemska USV:er (eng. Unmanned Surface Vehicle), för bekämpning där de med jämförelsevis enkla lågkostnadssystem även lyckats slå ut avsevärt dyrare mål.

Försvarsmakten har ett stort behov av stöd i förmågeutvecklingen kopplat till obemannade farkoster, i alla domäner. FoT-projektet *Obemannade farkoster och autonoma system – teknik och operatör*¹ ska generera kunskap med syfte att stödja Försvarsmaktens förmågeutveckling inom området obemannade och autonoma system. Fokus i kunskapsuppbyggnaden ligger på kritiska förutsättningskapande tekniker, metoder för samverkan mellan operatörer och obemannade farkoster samt juridiska och etiska aspekter kopplat till användningen av beväpnade obemannade farkoster.

Detta Memo utgör en leverans inom projektet. Syftet är att översiktligt beskriva de aktiviteter som genomförts inom ramen för projektet under 2023. Vissa aktiviteter avrapporteras i andra Memo och rapporter under 2023, medan resterande aktiviteter kommer att avrapporteras skriftligt under 2024.

2 Projektbeskrivning

Projektets övergripande frågeställningar som inriktar projektets arbete lyder som följer:

- Hur ska nödvändiga funktioner för autonomt uppträdande realiseras?
- Hur bör samverkan ske mellan bemannade och obemannade system och vilka funktioner är lämpliga att automatisera med hänsyn till samverkan med bemannade system?
- Hur kan juridiska och etiska frågeställningar kopplat till autonoma system analyseras och hur bör analysen omhändertas i Försvarsmakten?

Exempel på nödvändiga funktioner för autonomt uppträdande är robust och störfast navigering och kommunikation, feldetektion, hantering av nödsituationer, rutt- och uppdragsplanering samt hur grupper av obemannade system ska styras som en enhet (ofta kallat svärmar).

Projektets huvudmål är att utveckla kunskap, metoder och verktyg för att stödja Försvarsmaktens förmågeutveckling.

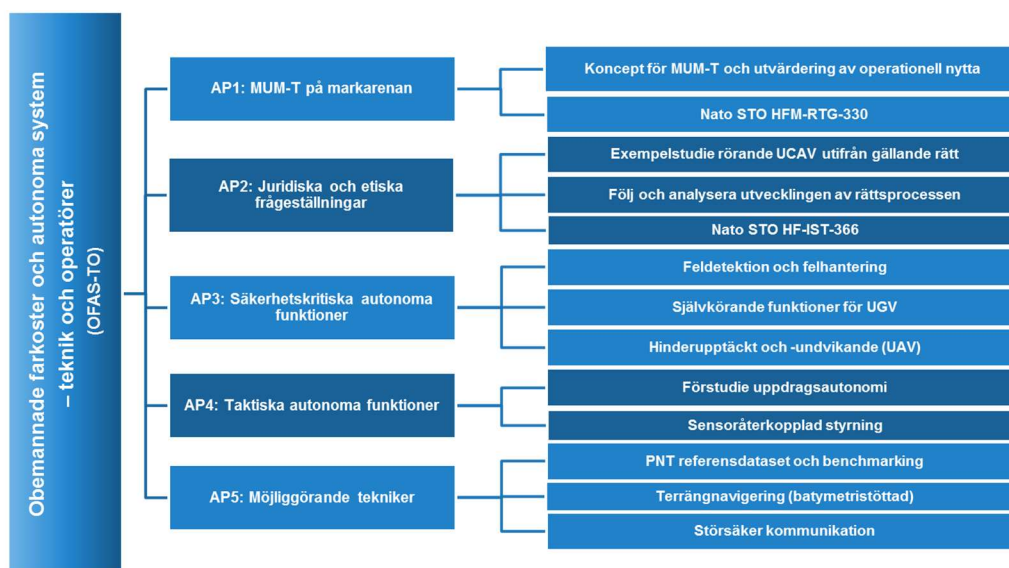
Forskningsområdet befinner sig i en snabb tillväxt. Arbetet i projektet sker inom teknikområden som gränsar till flera andra FoT-områden. Ett omfattande informationsutbyte och samarbete genomförs därför internt med verksamheter i andra FoT-projekt i syfte att identifiera och undvika överlappande verksamhet och identifiera synergier.

Projektets inriktning, arbetspaket och forskningsaktiviteter beskrivs i figur 1. Projektet består av fem större arbetspaket: Man-Unmanned Teaming (MUM-T), Juridik & etik för beväpnade obemannade farkoster, säkerhetskritiska autonoma funktioner (även benämnt farkostautonomi), taktisk autonomi (även benämnt uppdragsautonomi) och möjliggörande tekniker (i form av robusta positionerings- och kommunikationssystem).

¹ Projektet genomförs inom Temaområde Autonomi/Obemannat FOI 2023, beställningsnummer AT.9226006.

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number
FOI Memo 8332



Figur 1: Arbetspaketindelning och forskningsaktiviteter under 2023.

3 MUM-T på markarenan

Utöver grundläggande kunskapsuppbyggnad så har två aktiviteter har genomförts: (i) ett examensarbete riktat mot studier av gemensamma gränssnitt för olika typer av obemannade farkoster och (ii) en workshop för att öka förståelsen för hur en lätt till medeltung UGV (eng. Unmanned Ground Vehicle) kan användas i militära operationer i urban terräng, som ofta karaktäriseras av en hög hotbild.

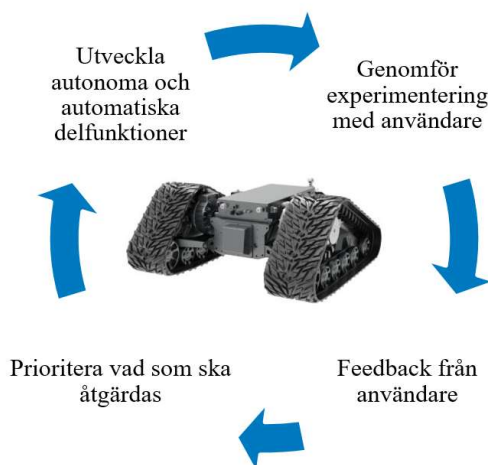
3.1 Gränssnitt

Det finns ett behov av gemensamma gränssnitt för att styra olika typer av obemannade farkoster, exempelvis mindre UGV:er och UAV:er samt presentera information från t.ex. deras spanings-sensorer. Examensarbetet var en explorativ studie rörande gemensamma gränssnitt för obemannade farkoster i högrisksituationer. Studien fokuserade på armburna gränssnitt för avsuttan spaning som alternativ till dagens handhållna styrdon som används för att fjärrstyra obemannade farkoster. Det är av stor vikt att utveckla och införa autonoma funktioner i syfte att reducera operatörens kognitiva belastning så att ledning av en obemannad farkost kan genomföras som en sidouppgift för en soldat. Brytpunktsnavigering (med hinderundvikande) och ”följ-mig”-funktionalitet är exempel på sådana funktioner för UGV:er.

3.2 Metodutveckling

I syfte att öka förståelsen för vilken roll UGV:er kan spela i militära operationer genomfördes en workshop med officerare och soldater ur 31.jbat (jägarbataljonen) som deltagare. Arbetet resulterade i ett detaljerat logistikscenario, där en medeltung UGV används, och identifierade vissa behov och krav kopplat till autonoma funktioner och användargränssnitt. Hur denna workshop genomfördes, använd metodik samt resultat och reflektioner beskrivs närmare i [1].

I [1] beskrivs även den metod för utveckling och utvärdering av olika koncept för MUM-T som framgent kommer att användas inom projektet (figur 2). Grunden är ett iterativt arbetssätt där experimenterande (i form av fysiska försök, simuleringar och spel) tillsammans med potentiella slutanvändare genererar feedback som används för att prioritera de autonoma funktioner som ska

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023Memo nummer/Number
FOI Memo 8332

Figur 2. Illustration av den arbetsmetodik som kommer att användas i projektet kopplat till MUM-T [1].

utvecklas. När dessa funktioner har utvecklats och integrerats på UGV:er eller i simulatorer så genomförs en ny omgång av experimentering med slutanvändare. Arbetsmetoden bedöms vara lämplig för exempelvis låtta och medeltunga UGV:er, men även för utveckling av uppdragsautonomi för mindre UAV:er (t.ex. UAV06).

4 Juridiska och etiska frågeställningar

Arbetet inom området juridik och etik har under 2023 fokuserat på tre relaterade aktiviteter: (i) följa rättsutvecklingen inom autonoma vapensystem, (ii) exempelstudie av gällande rätt kopplad till markmålsbekämpning med beväpnad UAV och (iii) studera metoder för hur exempelvis juridiska och etiska aspekter kan omhändertas under utvecklingsfasen av militär AI och autonoma system. Den sistnämnda uppgiften genomfördes inom ramen för Nato HFM-IST-RWS-366 och beskrivs tillsammans med projektets övriga internationella samarbeten i kapitel 8.

4.1 Rättsutvecklingen inom LAWS

En av projektaktiviteterna har varit att följa rättsutvecklingen för autonoma vapensystem och 2023 har i detta hänseende varit ett händelserikt år. Syftet med detta arbete är att identifiera huruvida ny folkrätt skapas, huruvida existerande folkrätt bekräftas, vilka initiativ Sverige deltar i och vad som sker inom relevanta organisationer. Nedan sammanfattas utvecklingen kort. Därtill presenteras årets arbete i en rapport som beskriver rättsutvecklingen under året [2], samt vid ett seminarium om gällande folkrätt, rättsutveckling och etiska frågeställningar relaterade till autonoma vapensystem.

Diskussionen om det eventuella behovet av ny folkrättslig reglering av autonoma vapensystem har huvudsakligen förts inom ramen för 1980 års konventionella vapenkonvention (CCW),² och dess arbetsgrupp på området Group of Governmental Experts on Lethal Autonomous Weapons Systems (GGE LAWS) [3]. GGE LAWS omhändertar juridisk, militär och teknisk expertis. Civilsamhällesorganisationer och vissa stater är dock kritiska till att behandla frågan regionalt och inom Förenta nationernas (FN:s) regi. Därtill har FN:s generalsekreterare och Internationella rödakorskommitténs (ICRC:s) president uppmanat stater att förbjuda autonoma vapensystem vars effekter inte kan förutses och begränsa alla andra typer av autonoma vapensystem, för att säkerställa förenlighet med

² Konvention om förbud mot eller inskränkningar i användningen av vissa konventionella vapen som kan anses vara ytterst skadebringande eller ha urskillningslösa verkningar (CCW), Genève den 10 oktober 1980, i kraft och bindande för Sverige sedan den 2 december 1983, 1342 UNTS 137, ratificerad av Sverige den 7 juli 1982, SÖ 1982:27.

Titel/Title

Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number

FOI Memo 8332

folkrätt och etik.³ Även EU har agerat inom ramen för sin kompetens och antagit en ny rättsakt. Förordning (EU) 2023/1525 av den 20 juli 2023 om stöd för ammunitionstillverkning (ASAP) upprättar tillfälliga åtgärder för att stärka den europeiska försvarsindustrin genom ekonomiskt stöd. Enligt artikel 8.4(b) undantas sådant stöd för tillverkning av dödliga autonoma vapen utan möjlighet till meningsfull mänsklig kontroll över urvals- och insatsbeslut vid attacker mot människor. Allt detta har satt press på CCW och innebär att en parallell process kan komma att inledas, vilket i sin tur riskerar att leda till fragmentering eller traktat som inte samlar global acceptans.

Arbetet i CCW GGE LAWS präglades 2023 av försiktig optimism och substantiella diskussioner. Flertalet av de deltagande staterna, inklusive Sverige, stödjer den så kallade ”two tier”-ansatsen, vilken innebär en förbudsdel och en regleringsdel. Det finns dock olika uppfattningar om vad som bör ingå i respektive del. GGE LAWS slutrapport 2023 avspeglar inte stegen mot ökad samsyn fullt ut men är den första rapporten med substantiellt innehåll sedan 2019. Rapporten klargör att den internationella humanitära rätten (IHR) är fullt tillämplig för potentiell utveckling och användning av dödliga autonoma vapensystem och att sådana vapensystem inte får användas om de inte kan användas i linje med IHR. Därtill anges att kontroll behövs för att upprätthålla förenlighet med folkrätten. Rapporten anger också att stater måste säkerställa förenligheten med deras förpliktelser under folkrätten, framförallt IHR, genom hela livscykeln för framväxande teknologier på området dödliga autonoma vapensystem. När så är nödvändigt bör stater bland annat begränsa typer av mål, begränsa den tidsmässiga, geografiska och operativa skalan för vapensystemet, samt tillhandahålla lämplig träning och instruktioner för mänskliga operatörer. Vidare hänvisas till folkrättsliga krav på granskning och stater uppmuntras att utbyta goda erfarenheter.⁴

En signifikant händelse 2023 var FN:s första utskotts antagande i november av ett resolutionsutkast om dödliga autonoma vapensystem. Resolutionen antogs med klar majoritet där 164 stater röstade för, inklusive Sverige. Resolutionen hänförs nu till generalförsamlingen och sätter frågan på agendan för kommande år.⁵ Resolutionstexten understryker behovet av att hantera de utmaningar och den oro som aktualiseras av autonoma vapensystem, särskilt genom GGE LAWS. Den anger att generalförsamlingen ska begära att generalsekreteraren undersöker staters och andra aktörers syn på möjliga sätt att adressera de utmaningar och den oro som dessa vapensystem aktualiserar från humanitära, rättsliga, säkerhetsmässiga, tekniska och etiska perspektiv och på människans roll i våldsanvändning.

Utvecklingen inom FN satte ytterligare press på CCW-statspartsmötet som genomfördes ett par veckor senare. Där beslutades att GGE LAWS får mandat (till och med 2025) att “further consider and formulate, by consensus, a set of elements of an instrument, without prejudging its nature, and other possible measures to address emerging technologies in the area of lethal autonomous weapon systems”.⁶

Kortfattat har rättsutvecklingen under 2023 lett till följande resultat:

- Processerna har *inte* resulterat i några nya folkrättsliga regler om autonoma vapensystem. Pressen att utveckla sådan reglering har dock ökat. Frågan kommer att behandlas av FN:s generalförsamling parallellt med CCW GGE LAWS kommande år, där GGE LAWS har ett utökat mandat från tidigare, att utforma beståndsdelar till ett instrument av obestämd status.

³ Joint call by the United Nations Secretary-General and the President of the ICRC for States to establish new prohibitions and restrictions on Autonomous Weapons Systems, 5 October 2023, <https://www.icrc.org/en/document/joint-call-un-and-icrc-establish-prohibitions-and-restrictions-autonomous-weapons-systems> (senast läst 2023-11-27).

⁴ Group of Governmental Experts on emerging technologies in the area of Lethal Autonomous Weapons Systems, *Report of the 2023 session Group of Governmental Experts on Emerging Technologies in the area of Lethal Autonomous Weapons Systems, 6-10 March and 15-19 May 2023*, CCW/GGE.1/2023/2, para. 21-23.

⁵ First committee, Seventy-Eight Session, 28th Meeting, GA/DIS/3731, 1 November 2023, <https://press.un.org/en/2023/gadis3731.doc.htm>, resolutionen har UN Doc. Nr. A/C.1/78/L.56, <https://daccess-ods.un.org/access.nsf/Get?OpenAgent&DS=A/C.1/78/L.56&Lang=E> (senast besökt 2023-11-27).

⁶ Meeting of the High Contracting Parties to the Convention on Prohibitions or Restrictions on the Use of Certain Conventional Weapons Which May Be Deemed to Be Excessively Injurious or to Have Indiscriminate Effects, 15 – 17 November 2023, *Final Report*, CCW/MSP/2023/7, 23 November 2023, para. 20.

Titel/Title

Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number

FOI Memo 8332

- Både slutrapporten för CCW GGE LAWS, FN:s generalförsamlings första utskotts resolutionsutkast och politiska deklamationer *klargör* att IHR och annan tillämplig folkrätt *gäller* fullt ut för autonoma vapensystem. Med andra ord *bekräftas* (återigen) att nu gällande folkrätt reglerar existerande och framtida autonoma vapensystem.
- *EU* har antagit en *ny* relevant *rättsakt*, vilken *undantar* dödliga autonoma vapen utan möjlighet till meningsfull mänsklig kontroll över urvals- och insatsbeslut vid attacker mot människor från en nyupprättad möjlighet till *ekonomiskt stöd* inom försvarsindustrin.

4.2 Användning av UCAV utifrån gällande rätt

Arbetet inkluderar en rättsvetenskaplig analys av hur IHR reglerar utveckling och användning av obemannade, beväpnade flygfarkoster (eng. Unmanned Combat Aerial Vehicle, UCAV) som använder autonoma funktioner som en del av bekämpningskedjan. Analysen inkluderar en fallstudie med en fiktiv UCAV med en skala av möjliga autonoma funktioner. Analysen kommer att presenteras i en rapport under 2024.

Arbetet bygger vidare på den forskning som beskrivs i [3] avseende handlingsregler. Syftet är att identifiera folkrättsliga frågor som aktualiseras vid införandet av autonoma funktioner som en del av bekämpningskedjan och behöver beaktas i utvecklingsfasen och/eller vid användning av UCAV vid bekämpning av markmål. Arbetet undersöker internationell humanitär rätt tillämplig för Sverige i händelse av internationell väpnad konflikt, det vill säga en mellanstatlig konflikt, och beskriver hur förbud, begränsningar och skyldigheter att vidta åtgärder aktualiserar frågor som bör omhändertas vid utveckling eller användning av UCAV med autonoma funktioner som en del av bekämpningskedjan vid bekämpning av markmål. Därefter genomförs en fallstudie där IHR tillämpas på en fiktiv UCAV med olika nivåer av autonomi, där den mänskliga operatören har varierande grad av involvering, och i olika situationer. Genom att studera en UCAV med olika nivåer av autonoma funktioner i bekämpningskedjan, och ha fokus på både utveckling och användning, ämnar studien bidra till en diskussion om var och hur olika folkrättsliga frågor lämpligen omhändertas för främjande av rättsenlig användning och nyttjande av hela det rättsliga ramverket.

5 Säkerhetskritiska autonoma funktioner

Säkerhetskritiska autonoma funktioner omfattar ett stort antal olika delområden (inklusive farkoststyrning) och forskningen kan av resursskäl endast studera ett urval av dessa. De aktiviteter som studeras i projektet är: (i) feldetektion och felhantering, (ii) självkörande funktioner för UGV:er och (iii) hinderupptäckt och hinderundvikande. Dessa aktiviteter är i uppstartsfasen och forskningen kommer att fördjupas under de kommande åren. En begränsad insats har även genomförts kopplad till automatlandning av en UAV på en UGV. Arbetet har bestått i att föra över de estimeringsalgoritmer som utvecklades under 2022 från simuleringsmiljö till en fysisk UAV. Initiala datainsamlingar med UAV genomfördes även men arbetet inom denna aktivitet prioriterades sedan ned till förmån för andra av projektets aktiviteter.

5.1 Feldetektion och felhantering

Under 2023 genomfördes ett examensarbete inom området feldetektion och felhantering där exogen feldetektion av avvikande beteenden hos svärmindivider studerades. Arbetet syftade till att undersöka statistiska metoder för att detektera avvikande beteenden i en svärm av UAV:er. Genom att modellera fel i farkosternas drivlina och sensorer kunde avvikande beteenden genereras vid simuleringar för de enskilda svärmindividerna. En algoritm implementerades som vid simuleringar identifierade avvikande svärmindivider när de flög runt i formation. Metodens förmåga att detektera fel på detta sätt (exogent) var kraftigt beroende av parameterinterval i algoritmen men den gav goda resultat för flera typer av fel.

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number
FOI Memo 8332



Figur 3: De två UGV:er som projektet för närvarande förfogar över. Den äldre UGV:n, till vänster, har en framåtriktad kamera som kan användas för spaning och "follow me"-funktionalitet. Den har även en 32-linjers LiDAR (laserradar) som används för hinderundvikande och kartering. Den nyare UGV:n, till höger, har bättre spaningsförutsättningar med en 360-graders kamera och en Axis PTZ kameradom.

5.2 Självkörande funktioner för UGV

Under året har grundläggande algoritmer för farkostautonomi, som främst simulerades föregående år, implementerats fullt ut på en UGV (typ A200 Husky, figur 3). Det ger en initial förmåga att använda dessa vid försök och kommande forskning inom området MUM-T, samt förutsättningar för att komma igång med intrimning av algoritmerna på verkliga data.

En andra UGV har även anskaffats under året, med bättre spaningssensorer i form av en 360-graders kamera och en pan-tilt-zoom kamera, se figur 3. Den skall under nästa år även den förses med LiDAR (laserradar) så att samma uppsättning algoritmer kan överföras till den.

Två autonoma funktioner har implementerats: "follow me" (där UGV:n följer en person) och brytpunktsnavigering med hinderundvikande. Ett enkelt grafiskt användargränssnitt har tagits fram som stödjer användningen av dessa autonoma funktioner. Ett förbättrat lokalt positioneringssystem har även implementerats under året. Utvecklingen av en grundläggande arkitektur för att kunna lägga till utökade moder för autonomi i kombination med övervakning och kontroll från det grafiska användargränssnittet har inletts. En slutsats från arbetet är att beräkningshårdvaran för tillfället är otillräcklig och UGV:erna kommer utrustas med ytterligare beräkningsdatorer under nästa år.

Under 2024 behöver arbetet fortsätta med att finjustera algoritmerna och utveckla beräkningshårdvaran. En ny autonom funktion kommer att implementeras där UGV:n autonomt ska kunna köra en rutt som den tidigare färdats. En nödvändig förmåga som identifierats är att kunna följa rörliga objekt i omgivningen, dels för att dessa inte ska läggas in som stationära hinder i kartan och dels för att bättre ta hänsyn till dem i hinderundvikandet genom modellering av rörelsen. Genom målföljning av rörliga objekt möjliggörs även utveckling av mer avancerade moder av "follow me". Genom deltagandet som observatörer vid Estlands UGV-AT identifierades även värdet av att sensorbaserat kunna följa väg eller farbar yta, vilket kommer premieras vid utveckling av ny funktionalitet. Det kan bland annat leda till en effektiv funktionalitet där UGV:n kan lära sig en väg och karta för att sen köra i skytteltrafik fram och tillbaka längs denna rutt. Det ger även möjlighet till effektivare följning av väg vid brytpunktsnavigering även då positioneringssystemet ger felaktiga estimat.

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023Memo nummer/Number
FOI Memo 8332

Figur 4: Vänster: Kvadrokopter av motsvarande klass som UAV06 (foto: FOI). Mitten: UAV05 under övning (foto: Försvarsmakten). Höger: MALE UAV MQ-9 Reaper upphängd på National Museum of the United States Air Force i Dayton, OH (foto: FOI).

5.3 Hinderupptäckt och hinderundvikande

En önskvärd autonom funktion hos mindre UAV:er är att ha förmåga att automatiskt kunna upptäcka dynamiska och stationära hinder och undvika kollisioner med dessa. Att kunna upptäcka och väja för dynamiska hinder, framförallt andra UAV:er och även helikoptrar, utgör en stor utmaning med dagens system. I civila tillämpningar kan transpondrar som utrustas på UAV:er och andra luftfarkoster användas för att ge en sådan förmåga (exempelvis för att förenkla lufrumssamordningen). I en militär kontext krävs dock att UAV:er kan upptäcka dessa hinder med sina egna sensorer och därefter, om risk för kollision finns, ändra sin flygbana.

Farkosternas behov, och de tekniker som används, varierar avsevärt beroende på storlek och typ av UAV (t.ex. mellan en multirotor-UAV och en UAV av flygplanstyp). Storleken är av avgörande betydelse. För en MALE (eng. Medium-Altitude Long Endurance) UAV krävs tillförlitliga metoder för att upptäcka andra UAV:er och flygplan för att möjliggöra framtida flygningar i gemensamt lufrum tillsammans med exempelvis civilflyg. Inom detta område utvecklas radarsystem (eng. Duet-Regard Radar, DRR) och dedikerade algoritmer (eng. Detect-and-Avoid, DAA) för att lösa dessa utmaningar. Dessa sensorer skiljer sig drastiskt från vad som är möjligt att införa på en stridsteknisk UAV (som UAV05 eller UAV06, se figur 4).

För en stridsteknisk UAV som UAV05 bedöms behovet primärt att vara förmåga att upptäcka och undvika andra flygande farkoster. I jämförelse finns för UAV06 även behov att flyga lågt och även upptäcka och undvika statiska hinder. Det finns små UAV:er som har förmågan att upptäcka objekt i sin omgivning (på korta avstånd vid relativt långsam flygning) och undvika kollisioner med t.ex. träd och grenar eller byggnader.⁷ Förmågan att upptäcka och undvika andra UAV:er saknas.

Under 2023 har en aktivitet påbörjats inom området hinderupptäckt och hinderundvikande, med fokus på mindre UAV:er, där en initial litteraturstudie har genomförts och en utvald algoritm har implementerats. Den nuvarande metoden är främst lämplig för stationära hinder och rörliga objekt med relativt låg hastighet, men det fortsatta arbetet kommer fokusera mer på möjligheterna att upptäcka och väja för exempelvis andra UAV:er.

6 Taktiska autonoma funktioner

Uppdragsautonomi syftar på ett övergripande plan till att realisera de önskade taktiska förmågorna.

⁷ Se exempelvis www.skydio.com/x10d (senast besökt 2023-11-29).

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023Memo nummer/Number
FOI Memo 8332

6.1 Uppdragsautonomi

Uppdragsautonomi kommer att realiseras i olika lager. Ett aktuellt exempel är det amerikanska projektet Golden Horde där AFRL (eng. Air Force Research Lab) utvecklar teknik där samverkande autonomi utvecklas för bekämpningsuppdrag. De har bland annat genomfört demonstrationer där C-SDB (eng. Collaborative Small Diameter Bomb) utrustas med radiosystem som möjliggör datakommunikation direkt mellan dessa, kombinerat med algoritmer som möjliggör en koordinerad bekämpningsinsats. Genom att använda regelbaserade AI-tekniker (i detta fall används s.k. Playbooks) med ett antal fördefinierade tillåtna åtgärder (vilket ska säkerställa att existerande regelverk kring bekämpning kan uppfyllas) så kan ett antal av dessa bomber i samverkan fördela mål sinsemellan och även upptäcka och fatta beslut om bekämpning av nya mål. Inom Golden Horde Colosseum utvecklas möjligheten att på ett effektivare sätt utveckla, utvärdera och demonstrera de förmågor som är möjliga att nå med NCA-kompatibla vapen (eng. Networked, Collaborative and Autonomous). Colosseum implementerar en LVC-approach (eng. Live, Virtual, Constructive).⁸ Colosseum ska ge möjlighet att utveckla nya vapen, modifiera existerande vapen och den ska även användas för utveckling och utvärdering av tekniker för samverkande (svärmar) av UAV:er eller andra typer av obemannade farkoster.

Användningen av Playbooks kan ses som det översta lagret i uppdragsautonomi, som även har tydlig koppling till hur operatörerna leder de autonoma farkoster (eng. Human-Autonomy Teaming, HAT, eller MUM-T). I nästa lager finns andra typer av metoder, såsom beteendeträd, som i sin tur (beroende på uppdrag) kan använda sig av ett antal olika algoritmer som detaljstyr farkostens uppträdande där sensoråterkopplad styrning, modellprediktiv reglering och förstärkningsinlärning utgör tre alternativ. En förstudie som avser ge en bred beskrivning av området har nyligen initierats där målet är att ge underlag för att inrikta projektets fortsatta forskning inom uppdragsautonomi.

6.2 Sensoråterkopplad styrning

Sensoråterkopplad styrning har utgjort en del av projektet sedan 2022. Metoden utgör en teknik (av flera) som möjliggör realisering av uppdragsautonomi. Arbetet påbörjades genom att återta den kunskap som FOI hade för 15 år sedan inom detta forskningsområde (se exempelvis [4]) och den forskningen syftar nu till att skapa förutsättningar för att använda denna typ av metoder i kommande forskningsaktiviteter inom uppdragsautonomi. Under det första året studerades bl.a. planeringsfasen (se nedan) för tidsdiskreta problem, medan arbetet under innevarande år har inriktats mot teoretiska och numeriska metoder för tidskontinuerliga problem.

Termen sensoråterkopplad styrning, SåS, syftar i detta arbete på optimering av förväntad Fisherinformation givet tidigare observationer. Metoden kan sägas vara en kombination av statistisk beslutsteori och styr-/reglerteori (metoden beskrivs mer utförligt i kapitel 11 i [4]). Principerna är tillämpbara i många situationer, t.ex. i fallet att bestämma en målpunkts koordinater utifrån brusiga vinkelmätningar från en observationspunkt som systemet successivt väljer. Tidigare värden bestämmer då den fortsatta trajektorian. Detta innebär att metoden växelvis (*i*) uppdaterar sin skattning och måttet på dess kvalitet (Fisherinformation) och (*ii*) planerar sin framtida trajektoria så att den skattningen förväntas bli så säker som möjligt. I det tidskontinuerliga fallet löper dessa processer parallellt. Båda stegen innebär att ett eller flera optimeringsproblem behöver lösas.

Teoretisk analys

Relationen mellan sensoråterkopplad styrning och filtreringsteori har analyserats teoretiskt. För bestämning av parametrar som varierar med tiden på ett (känt) stokastiskt sätt, är den sensoråterkopplade styrningen dock snarare relaterad till glättning (eng. smoothing). En undersökning av symmetriegenskaperna hos problemtypen har genomförts.

⁸ afresearchlab.com/technology/vanguards/successstories/golden-horde (senast besökt 2023-11-28).

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number
FOI Memo 8332

Numeriskt angreppssätt

Arbetet med att använda numeriska metoder för att lösa det tidskontinuerliga planeringsproblemet har påbörjats och följande delaktiviteter har genomförts: Litteraturstudier om optimal styrning, teoretiskt såväl som numeriskt. En stor del av tiden har använts till att implementera planeringsproblemet i PSOPT⁹, en programvara som använder pseudospektrala metoder. Detta har varit långt ifrån problemfritt och åtskilligt arbete återstår innan tillförlitliga resultat kan erhållas med denna programvara. Vissa enkla exempel på planeringsproblemet har hanterats analytiskt med variationskalkyl tillsammans med numerisk lösning av tillhörande differentialekvationer. Dessa exempel är värdefulla vid jämförelse med lösningar från exempelvis PSOPT.

Reduktion av komplexiteten

För realistiska fall av sensoråterkopplad styrning i militära tillämpningar växer problemet radikalt och metoder för att reducera komplexiteten krävs. På den teoretiska sidan handlar det om tillämpningar av informationsgeometri och symmetri grupper. Numeriskt handlar det om algoritmt teori och heuristik. Följande metoder har därvid identifierats: Pseudospektrala metoder, modellprediktiv reglering (eng. Model Predictive Control), Rapidly-exploring Random Trees, förstärkningsinlärning (eng. Reinforcement Learning) och även faktorgrafbaserade metoder.

Under 2024 kommer arbetet med utveckling av teori, metoder och tillämpningar sammanfattas i en rapport som kan tjäna som underlag för inriktning av det fortsatta arbetet.

7 Möjliggörande tekniker

Inom ramen för detta arbetspaket studeras tekniker för robusta kommunikations- och positionerings-system för obemannade farkoster.

7.1 Laserkommunikation

Fri optisk kommunikation (eng. Free-Space Optical Communications) är en kommunikationsteknik som använder en modulerad laserstråle för att överföra information trådlöst till en mottagare. Tekniken har utvecklats snabbt under de senaste åren framförallt tack vare ett ökande intresse från rymdindustrin, särskilt för kommunikation med mycket hög dataakt mellan satelliter.

Fri optisk kommunikation har flera potentiellt viktiga fördelar, i vissa militära tillämpningar, jämfört med många befintliga radiosystem. De viktigaste egenskaperna är den mycket höga dataakt som kan realiserats (hundratals Mbit/s), signalen är svår att upptäcka och störa ut och tekniken kräver ingen frekvenstilldelning. Tekniken har dock även fundamentala begränsningar, framför allt att den förutsätter fri sikt mellan sändare och mottagare och att räckvidden begränsas av atmosfärs effekter. Räckvidden är väderberoende och är ytterst begränsad vid tät dimma eller kraftigt regn. Dessa egenskaper liknar till stora delar vad som kan förväntas för ett radiosystem som använder höga frekvenser (t.ex. vid 55 eller 60 GHz) och gruppantenner med smala antennlobber.

Ett intressant användningsområde för fri optisk kommunikation är datalänkar mellan operatör och UAV eller mellan UAV:er. Små UAV:er som UAV06 används på korta avstånd och flygs normalt inte under de väderförhållanden då en optisk länk är som mest begränsad. Erfarenheterna från Ukraina visar tydligt att denna typ av UAV:er i stor utsträckning flygs i telestörda miljöer och det finns ett stort behov av mer robusta kommunikationssystem för dessa. För små UAV:er så ställs strikta krav på liten storlek, låg vikt och ofta låg kostnad.

Målbilden i det här arbetet är att undersöka möjligheterna att med en liten och lätt terminal för fri optisk kommunikation, baserat på kommersiella komponenter för att nå en låg kostnad, skapa ett

⁹ www.psopt.net/ (senast besökt 2023-11-28).

Titel/Title

Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number

FOI Memo 8332

robust kommunikationssystem för små UAV:er (figur 5). Den stora utmaningen för en sådan kommunikationslänk är att rikta laserstrålen mot mottagaren när farkosterna rör sig.

Arbetet har under året bedrivits parallellt med en FMV-finansierad förstudie där en lösning med laserterminal jämförs med en lösning baserad på så kallade modulerbara retroreflektorer på en UAV [5]. Modulerbara retroreflektorer har fördelen att de kan eliminera behovet av en gimbal för inriktning. De ger dock inte en lika lång räckvidd i jämförelse med en laserterminal. I det här projektet ligger fokus på laserterminalen och att praktiskt utreda om önskvärd funktion kan uppnås från en kommersiell gimbal avsedd för kamerastabilisering.

Inledande utvärderingar av stabiliseringsfunktionen i en gimbal har genomförts med test på en mindre UAV utomhus. En kamera fästes på gimbalen och riktades mot en punktlyskälla på 60 m avstånd, avpassat för att få en önskvärd vinkelupplösning. Stabiliteten utvärderades genom att mäta/följa ljuskällans rörelser i bilden. Uppmätta värden med en hovrande UAV i lugna förhållanden indikerar att en standardavvikelse för pekvinkelfelet på under en milliradian kan uppnås när den hudsakliga inriktningen kan kontrolleras. Det är ett lovande resultat som innebär att en räckvidd på omkring 1 km bör kunna uppnås med en relativt enkel installation i fråga om laser.

7.2 Referensdataset och benchmarking

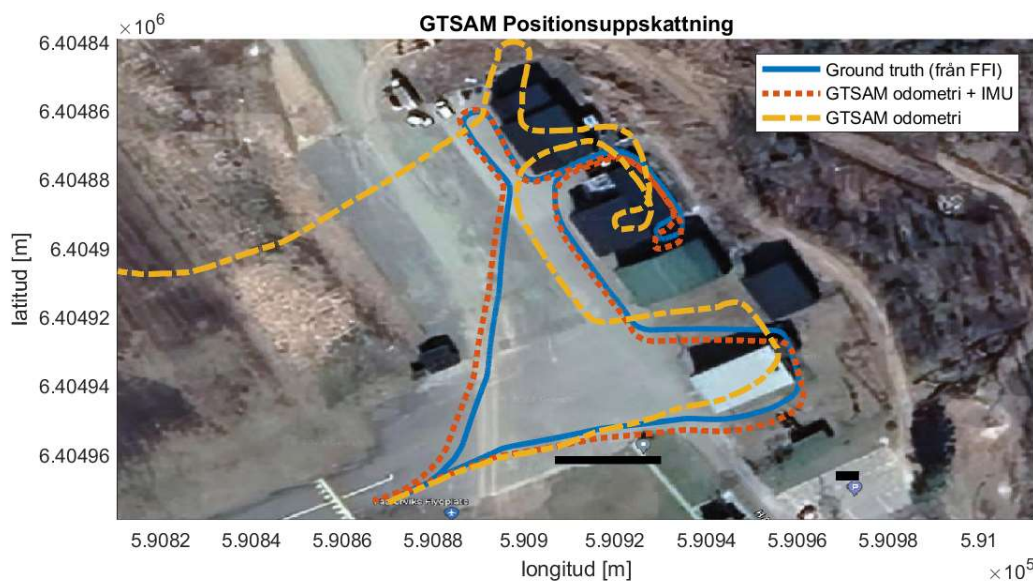
FOI genomför i samarbete med FFI datainsamlingar i syfte att skapa ett gemensamt referensdataset för utvärderingar av positioneringssystem och -algoritmer. Arbetet genomförs inom ett forsknings-samarbete som initierats inom Nordefco COPA CAPA (eng. Cooperation Area Capability).

Data från mätningar som genomfördes i Västervik under 2022 ([6]) har dokumenterats och strukturerats och förbehandlats för enkel åtkomst och analys. Detta är en central del i skapandet av ett referensdataset. FFI bidrog vid dessa försök med ett positionsreferenssystem bestående av en högkvalitativ IMU (HG9900) och en GNSS-mottagare (eng. Global Navigation Satellite System, GNSS). Resultaten (position, orientering och hastighet) kommer användas som "Ground truth" vid utvärderingarna (figur 5). De positionsestimat som GNSS-mottagaren gav i detta referenssystem var dock inte tillräckligt noggranna vid de körningar som genomfördes i skog. Kompletterande mätningar kommer att genomföras i syfte att öka noggrannheten, genom att algoritmerna får möjlighet att använda enkelt identifierbara landmärken på noggrant uppmätta positioner.

Analysen av data från Västerviksmätningarna har fortsatt under 2023. En sensorfusionsalgoritm baserad på GTSAM (eng. Georgia Tech Smoothing and Mapping)¹⁰ har använts vid dessa utvärderingar. Algoritmen är anpassad för att hantera data från GNSS-mottagare, tröghetssensorer samt odometrimätningar från en UGV av typen A200 Husky. Algoritmen kommer senare att utökas till att hantera ytterligare mätningar och för användning på andra plattformar. Sensorfusionsalgoritmen har därefter använts till olika jämförelser (eng. benchmarking), bland annat hur olika IMU:er påverkar positioneringsfelet, påverkan från en nollhastighetsuppdatering (eng. Zero Velocity Update, ZUPT) i slutet av experimentet och hur banans utformning påverkar felet. Effekterna av samverkande positionering mellan UGV och ett annat fordon (Toyota Landcruiser) via radiobaserade avståndsmätningar med extremt bredbandiga radiosändtagare (eng. Ultra Wide Band, UWB) är under utvärdering. Utvärderingar pågår även av hur positionsprestanda kan förbättras med hjälp av en laserradar. I samtliga analyser utgör GTSAM basen för lösningen.

Under 2024 kommer dels ett nytt fältförsök att genomföras i Norge, dels avslutas analyserna av den påverkan olika sensorer och delsystem har på multisensorsystemets positionsnoggrannhet.

¹⁰ "Smoothing" i namnet innebär på svenska en "glättningssalgoritm" som inte bara beräknar nuläget som i ett filter, men även uppdaterar alla historiska estimat, vilket kan ge förbättrad noggrannhet (på grund av bättre linjäriseringar).

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023Memo nummer/Number
FOI Memo 8332

Figur 5: Exempel på olika lösningar med odometri och lägre klass IMU jämfört med den ground truth som FFI bidragit med under året. (Bakgrund: Bilder ©2023 Airbus, CNES / Airbus, Lantmäteriet/Metria, Maxar Technologies, Kartdata ©2023).

7.3 Terrängnavigering

För navigering av autonoma farkoster används ofta tröghetsnavigering (TN) tillsammans med satellitnavigering. Satellitnavigeringen begränsar den inneboende driften hos tröghetsnavigeringssystem. Signalerna från satelliterna är dock väldigt svaga och därmed känsliga för avsiktliga och oavsiktliga störningar [7]. Tröghetsnavigering kan under kortare perioder överbygga bortfall av satellitnavigering men positionsfelet kommer oundvikligen öka kraftigt efter en viss tid. För tröghetsensorer som används på små och medelstora obemannade farkoster är denna tid ytterst kort (den räknas i sekunder snarare än minuter).

Terrängbaserad navigering är en navigeringsmetod som använder sig av uppmätt terränghöjd (alternativt boddjup) i kombination med en terrängdatabas (batymetridatabas) för att skatta position. Detta kan användas för att komplettera ett tröghetsnavigeringssystem när satellitnavigering är otillförlitligt eller inte är tillgängligt. Terrängnavigering är ett starkt olinjärt estimeringsproblem och ofta används därför ett så kallat partikelfilter för skattningen av position. Se exempelvis [8] för en detaljerad beskrivning av batymetristöttad navigering.

Under 2022 påbörjades arbete med att införa förmågan att utvärdera navigeringsprestanda med terrängnavigering i FOI:s NavToolbox – en internt utvecklad simuleringsmjukvara för positionering och navigering. Den införda förmågan fokuserade främst på uppbyggnaden av ett fristående partikelfilter och algoritmen har under året förbättrats genom återkoppling till ett Extended Kalman Filter (EKF). Detta ger möjlighet att estimeras och kompensera för sensorfel hos accelerometrar och gyron. I figur 6 visas en översikt av den återkopplade filterstrukturen. Som framgår av figuren finns en informationsloop som gör att observationerna från partikelfiltret till tröghetsnavigeringens EKF inte är oberoende. Arbetet med att åtgärda detta fortsätter under nästa år.

I figur 7 illustreras den potentiella nyttan med att utnyttja terrängnavigering på en simulerad bana för ett ytfartyg. Ytfartyget färdas med 10 m/s (ca 19 knop) under 40 minuter och är utrustat med ett

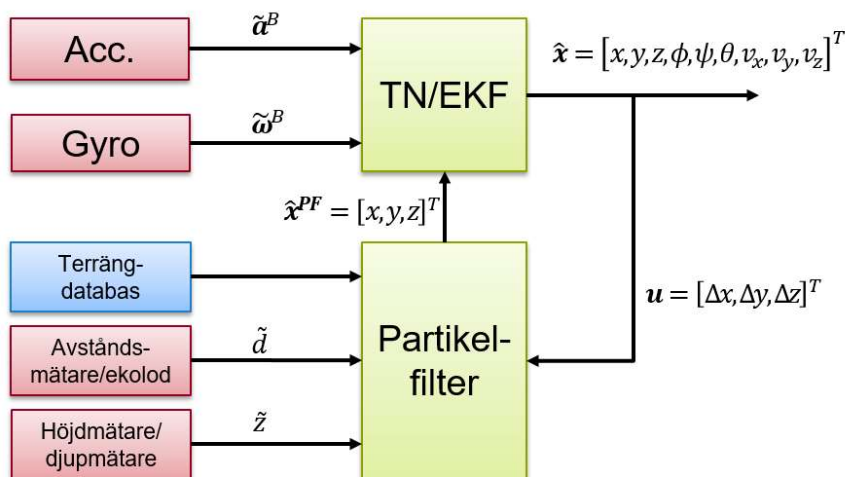
Titel/Title

Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

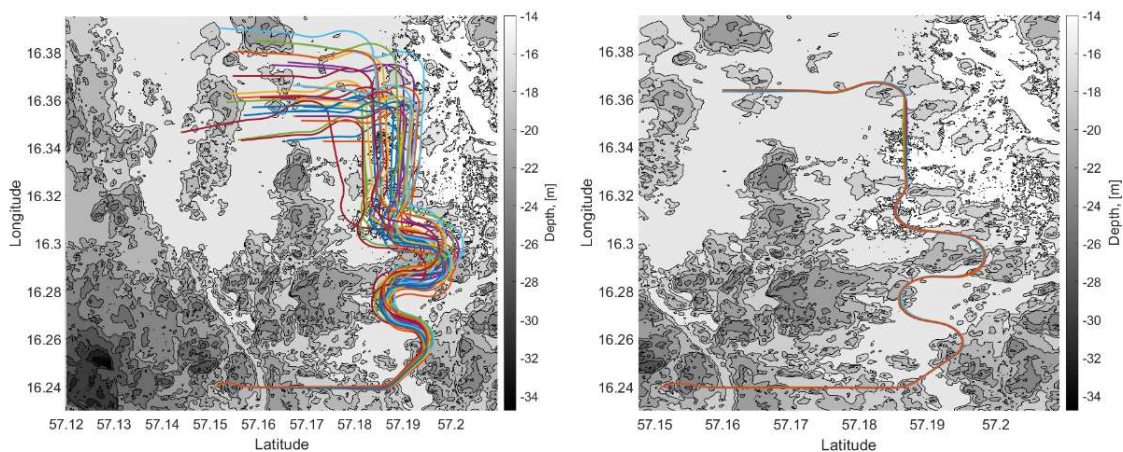
Memo nummer/Number

FOI Memo 8332

tröghetsnavigeringssystem som bas för navigeringen.¹¹ Till vänster i figur 7 visas skattad position för 30 realisationer med enbart tröghetsnavigering och till höger 30 realisationer med stötning av botten djupmätningar där positionsfelet efter 40 minuter håller sig kring 10 m.



Figur 6: Översikt av terrängnavigeringssystemet där acceleration ($\tilde{\mathbf{a}}^B$) och vinkelhastighet ($\tilde{\boldsymbol{\omega}}^B$) från tröghetsensorer som uppdaterar skattad förflyttning (\mathbf{u}) mellan uppdateringar av partikelfiltret. En sensor (t.ex. radarhöjdmätare eller ekolod) mäter höjd över mark eller botten (\tilde{d}) och partikelfiltret kan med hjälp av en terrängdatabas (t.ex. batymetridata) skatta farkostens position. Skattad position från partikelfiltret återkopplas till ett Extended Kalman Filter för kompensation av sensorfel.



Figur 7: Till vänster visas 30 simulerade banor för ett yfartyg så som beräknat med enbart tröghetsnavigering och till höger motsvarande då navigeringen stötts med djupmätningar.

¹¹ Felen i acceleration och vinkelhastighet modelleras med ett konstant bias och ett additivt vitt brus. Bias för gyron och accelerometrar slumpas fram med en standardavvikelse på 0,05 grader per timme (3 sigma) och 0,05 mg (3 sigma). Det additiva vita bruset är 0,012 deg/sqrt(hr) (ARW, Angular Random Walk) och 0,12 mg/sqrt(Hz) (VRW, Velocity Random Walk) vilket motsvarar ungefär en tröghets sensor av motsvarande kvalitet som KVH 1775 (se t.ex. [8]). Några felkällor hos tröghets sensorerna har dock ignorerats (t.ex. skalfaktorfel, temperaturberoende bias och bias instabilitet) samt att initial orientering utgått från sann orientering. Detta gör att simulerad prestanda för tröghetsnavigeringen är bättre än vad som kan förväntas i verkligheten med motsvarande sensor. För djupmätningarna har ett ekolod som mäter djupet i en punkt rakt ner antagits och dess mätfel modellerats som ett additivt vitt brus på 0,3 m (3 sigma).

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number
FOI Memo 8332

8 Övriga aktiviteter

Projektets medarbetare har deltagit i ett antal nationella och internationella aktiviteter. De viktigaste av dessa beskrivs härnäst.

- “Summit on Responsible Artificial Intelligence in the Military Domain”, REAIM 2023. Arrangerades i The Hague, Nederländerna, 15-16 februari.
- Deltog i den svenska delegationen till CCW GGE LAWS vid två möten i Genève (6-10 mars och 15-19 maj).
- Presentationer vid möte om Human-Autonomy Teaming (HAT) på FOI med deltagare från FMV, RISE, SAAB och FOI.
- Expertmöte om artikel 36-granskning av autonoma vapensystem i Sydney 28-30 mars. “Meeting of Experts on the Legal Review of Autonomous Weapons Systems 2023”, anordnat av Australian Department of Defence, Directorate of Operations and International Law (DOIL).
- En presentation gavs vid konferensen Military Robotics and Autonomous Systems i London 17-18 april.
- Presentation vid möte om UAS i Halmstad som arrangerades av Saab med deltagare från Saab, Försvarsmakten och FOI.
- En presentation gavs vid det digitala mötet som genomfördes 7-8 juni inom samarbetet Partnership for Defence.
- Två medarbetare deltog som nyckelobservatörer under UGV Autonomy Trials (UGV-AT) som arrangerades av militärakademien i Estland den 28-29 juni. Elva UGV:er deltog under dessa dagar där fokus var på att utvärdera mognadsgraden för autonom brytpunkts-navigering på grusvägar, i terräng och i skog. En observatörsrapport har även tagits fram som beskriver resultaten [9].
- Tekniker för RPAS och forskningsbehov presenterades vid RPAS-studiemöte 31 augusti.
- Deltagande vid WASP WARA PS demonstration och efterföljande workshop. Genomfördes 21-22 september i Gränsö.
- Arrangerade seminarium inom ”Autonoma vapensystem – Juridik, etik och rättsutveckling”, 29 november på FOI i Kista, med deltagare från Försvarsmakten och FMV.

Natorelaterade aktiviteter inom STO (eng. Science & Technology Organization):

- HFM-RTG-330 – forskningsgrupp inom området ”Human Systems Integration for Meaningful Human Control over AI-based systems”. Ett möte genomfördes i Minneapolis under perioden 15-17 maj och underlag till slutrapporten har tagits fram.
- SET-RLS-274 – Projektet arrangerade som lokal koordinator en Nato Lecture Series i Kista den 19-20 juni inom samverkande positionerings-/navigeringstekniker, med titeln ”Cooperative / Collaborative Navigation in GNSS Degraded and Denied Environments”. Denna kortkurs hade 32 deltagare med föreläsare från USA, Tyskland och Turkiet, och två gästföreläsare från Linköpings universitet.
- HFM-IST-RWS-366 – Workshop om ”Stakeholder Involvement Methods for Ethical, Legal and Societal Aspects of Military AI”. Genomfördes i London under 8-10 november. Vid workshopen testades och diskuterades olika metoder för hur etiska, juridiska och samhällsliga aspekter kan tas tillvara under utvecklingsfasen av militär AI och autonoma system. Erfarenheter från workshopen kommer att sammanställas i en Natorapport som slutförs under 2024.

Forskningsamarbete inom Nordefco COPA CAPA:

- I WG Robust Navigation studerar FOI tillsammans med FFI i Norge positioneringstekniker för obemannade farkoster. Målet är att ta fram ett gemensamt referensdataset och genomföra benchmarking av utvalda algoritmer. Ett fysiskt möte genomfördes på FFI 12 maj och flera virtuella möten har även genomförts. Arbetet avslutas 2024.

Titel/Title

Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number

FOI Memo 8332

Tre examensarbeten har handletts under året inom AP1 (MUM-T på markarenan) och AP3 (Säkerhetskritiska autonoma funktioner):

- M. Gideskog och A. Wide, *Gemensamt gränssnitt för obemannade enheter – En explorativ studie om framtida armburna gränssnitt inom militären för avsuttan spaning i högrisksituationer för markförband*, Linköpings Universitet, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, LIU-IEI-TEK-A--23/04688--SE, 2023.
- J. Henningsson, *Local Planning for Unmanned Ground Vehicles using Imitation Learning*, Lunds Universitet, TFRT-6210, 2023.
- M. Westberg, *Exogenous Fault Detection in Aerial Swarms of UAVs*, KTH Kungliga Tekniska Högskolan, november 2023.

9 Sammanfattande diskussion

I detta Memo beskrivs översiktligt den forskning som genomförs inom Temaområde Autonomi/Obemannat FOI 2023. Fokus i forskningen är riktat mot fyra huvudområden:

- samverkan mellan människa och maskin (över skalan styrning, ledning och teaming med den ökande graden av autonoma funktioner),
- juridiska och etiska frågeställningar kopplat till användningen av beväpnade obemannade farkoster,
- autonoma funktioner (säkerhetskritiska och taktiska) och
- möjliggörande tekniker i form av robusta positionerings- och kommunikationssystem avsedda för operationer i telestörda miljöer.

Projektets inriktning har varit att först bygga kunskap om förväntad utveckling de närmaste 5-10 åren för att snabbt generera kunskap som möjliggör stöd till Försvarmakten här och nu. Den kunskap som byggs upp har kommit Försvarmakten till nytta genom deltagande i ett antal studier och de har utgjort en viktig komponent i flera av de direktbeställningar från bland annat Arméstaben som FOI genomfört de senaste åren. Kunskapen används även i flera högprioriterade demonstratorprojekt.

Forskningen har av nödvändighet en stor bredd då projektet ska omfatta obemannade farkoster i alla domäner (luft, mark och sjö). Detta medför dock att de olika aktiviteterna har en begränsad volym och därmed även begränsade möjligheter att snabbt nå en hög forskningshöjd. Det är framförallt forskningen inom autonomiområdet som behöver förstärkas avsevärt. Regeringen har under hösten föreslagit en ökning av FOI:s anslag från och med 2024 och forskning inom autonomi förväntas utgöra en del av en sådan anslagsfinansierad forskning.¹² Den kunskap som byggs upp där kommer ha en stor effekt och nyttiggöras även inom FoT-projektet.

Flera av forskningsområdena befinner sig i viss mån fortfarande i en uppstartsfas. Området är även i stark tillväxt med omfattande rekryteringsbehov och därmed finns även ett behov av grundläggande kompetensuppbyggnad rörande Försvarmaktens behov och användningsområden. Under kommande år är målet att öka de vetenskapliga publikationerna och redan under 2024 är ambitionen att generera fyra vetenskapliga konferensbidrag eller artiklar och därefter succesivt säkerställa vetenskaplig publicering årligen inom alla arbetspaket.

¹² www.regeringen.se/pressmeddelanden/2023/09/okade-resurser-till-militart-innovationsprogram-och-utokad-forskning-inom-forsvarsområdet/

Titel/Title
Obemannade farkoster och autonoma system – Årsrapport 2023

Memo nummer/Number
FOI Memo 8332

Referenser

- [1] V. Lindholm, A. Melbi och M. Gideskog, *UGV för logistik – användarnytta och metodutveckling*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo, 2023. (under slutförande)
- [2] A. Andersson, *Utveckling av folkrättens reglering av autonoma vapensystem*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5551--SE, 2024.
- [3] P. Winther, *Folkrättslig reglering av autonoma vapensystem – en översikt av rättskällor, rättsutveckling och forskning om användning och ansvar*, FOI-R-5343--SE, december 2022. (sid. 53-65)
- [4] P. Skoglar, J. Nygårds, R. Björström, P. Ögren, J. Hamberg, P. Hermansson, M. Ulvklo, *Path and sensor planning framework applicable to UAV surveillance with EO/IR sensors*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--1741--SE, 2005.
- [5] L. Sjöqvist, F. Kullander, J. Berneland, V. Håkansson och V. Johansson, *Förstudie laserkommunikation till drönare*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-D--1231--SE, 2023.
- [6] J. Rantakokko (red.), *Obemannade farkoster och autonoma system - Årsrapport 2022*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5397--SE, 2023.
- [7] J. Rantakokko, M. Alexandersson, E. Axell, O. Karlsson, S. Nilsson, J. Nygårds, G. K. Olsson och J. Rydell, *Robust PNT – Slutrapport*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5414--SE, 2023.
- [8] J. Rantakokko, P. Strömbäck och M. Linné, *GNSS-oberoende navigering – Omvärldsanalys*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5328--SE, 2022.
- [9] European Defence Industrial Development Program (EDIDP), *Unmanned Ground Vehicles Autonomy Trials – Final Report*, 2023.