



FOI MEMO

Projekt/Project Sidnr/Page no
Expertstöd utvärdering av UAV-svärmar 1 (9)

Projektnummer/Project no Uppdragsgivare/Client
E38076 FMV

FoT-område
Inget FoT-område

Författare/Author
Jouni Rantakokko

Datum/Date Memo nummer/Number
2024-12-19 FOI Memo 8757

Autonomi och svärmar – ett diskussionsunderlag

Titel/Title
Autonomi och svärmar – ett diskussionsunderlag

Memo nummer/Number
FOI Memo 8757

1 Inledning

Syftet med detta Memo är att ge en kort introduktion till svärmområdet som ett diskussionsunderlag för det kommande arbetet inom detta uppdrag¹. Arbetet har nyligen påbörjats och kommande avrapporteringar kommer bland annat att inkludera fördjupade beskrivningar av de ingående områdena.

1.1 Svärmtaktik, samverkan och svärmalgoritmer

Det finns idag ingen entydig och förankrad definition av begreppet svärm, utan tolkningen av ordet svärm skiljer sig åt mellan olika vetenskapliga discipliner samt mellan forskar- och användarsamfunden. En gemensam aspekt är att det används för att beskriva grupper av obemannade farkoster som utför ett gemensamt uppdrag. Skillnaden i hur begreppet tolkas baseras istället på huruvida individerna samarbetar i utförandet av uppdraget eller inte, och hur ett samarbete i så fall är utformat. Beroende på perspektiv och sammanhang så kan ordet svärm användas för att beskriva tre typer: (i) *svärmtaktik*, (ii) ett mindre antal obemannade farkoster som genom *samverkan* ökar effektiviteten vid genomförandet av ett uppdrag eller, (iii) svärmar med ett stort antal svärmindivider som har förhållandevis avancerade *svärmalgoritmer* implementerade.

I medierapporteringen från kriget i Ukraina används ordet svärm normalt utifrån en tolkning som baseras på svärmtaktik, där ett större antal obemannade farkoster mättar motståndarens skyddsförmåga vilket medför att en del av farkosterna kan undvika att bli nedkämpade och sedan kan slutföra sitt uppdrag. Emellertid handlar det i dessa fall sällan om att farkosterna samverkan sinsemellan, förutom att de färdas så att de ankommer samtidigt. Ett typiskt exempel är de ryska attackerna med kombinationer av Shahed-farkoster, ryska UAV:er och olika typer av robotar. Fredagen den 13:e december, 2024, genomfördes krigets kanske mest omfattande attack då närmare 300 olika obemannade farkoster, kryssningsrobotar och hypersoniska Kinzjalrobotar användes.² Attackerna är avsedda att mätta den ukrainska luftförsvarsförmågan. Farkosterna genomför typiskt ett förprogrammerat uppdrag utan möjlighet att kommunicera eller samarbeta med de andra farkosterna och de har inga egenskaper som gör att de bör kallas för en svärm. De ryska attackerna inkluderar sedan några månader även enkla, billiga skenmål utan verkansdel.³

Utvecklingen av samverkande obemannade farkoster och vapensystem (exempelvis patrullrobotar) som gemensamt utför ett uppdrag har pågått de senaste 30 åren men har nu intensifierats. Patrullrobotar är redan utrustade med kommunikationssystem. Autonoma funktioner som medger att de utbyter måldata sinsemellan och har förprogrammerade algoritmer för, eller förhandlar om, fördelningen av mål som ska bekämpas av de olika individerna är idag möjligt att implementera.

Inom den vetenskapliga litteraturen associeras svärmbegreppet oftast med omfattande samverkan mellan, eller anpassningar till andra, svärmindivider. Emergent beteende är ett begrepp som används framförallt inom forskningen för mer avancerade bioinspirerade svärmalgoritmer och avser att gruppen av individer har ett helt annat, och mer avancerat, beteende än de enskilda individerna.

Oavsett definition så har ovanstående exempel vissa egenskaper som är gemensamma, bland annat att de kan innefatta heterogena svärmindivider bestående av olika farkosttyper och nyttolaster som kan genomföra exempelvis spaning, övervakning och målinmätning, kinetisk bekämpning och telekrigsinsatser. Varför är det viktigt att diskutera ordet svärm och ordets möjliga tolkningar? En anledning är det är stora skillnader inom vilket tidsperspektiv olika typer av svärmar, samlingar av

¹ EVD, FMV-referens 5014307, 2024-11-06.

² www.pbs.org/newshour/world/russia-targets-ukrainian-energy-infrastructure-with-massive-cruise-missile-and-drone-attack (not alla webbadresser senast besökta 2024-12-14).

³ www.abc.net.au/news/2024-11-29/russia-largest-drone-strike-foam-gerbera-/104652372.

Titel/Title
Autonomi och svärmar – ett diskussionsunderlag

Memo nummer/Number
FOI Memo 8757

okoordinerade farkoster eller komplexa självorganiserande grupper, kan förväntas realiseras och införas operativt och ge militär nytta även i realistiska operationsmiljöer:

- Enkel svärmtaktik används operativt idag.
- Grupper av samverkande heterogena obemannade farkoster som gemensamt utför ett uppdrag förväntas realiseras i närtid (under 2025).
- Stora svärmar och svärmlgoritmer som uppvisar emergent beteende förväntas inte realiseras förrän (tidigast) på 5-10 års sikt.

Alla tre koncepten kommer att vidareutvecklas kontinuerligt, de första realiseringarna förväntas ha operationella begränsningar kopplat till vilka miljöer och scenarion de kan verka effektivt i.

Svärmlgoritmer kan ses som ett sätt att möjliggöra svärmtaktik, med ett reaktivt beteende (i motsats till ett förprogrammerat uppdragsutförande), men där en eller ett fåtal operatörer leder och interagerar med svärmen. Ett enklare reaktivt beteende kan, i teorin, även erhållas genom teleoperation, men det förutsätter istället att varje individ styrs av en eller två operatörer (pilot och navigatör) vilket i praktiken är svårt att realisera för svärmar. Arkitekturen för hur större svärmar bör realiseras har en stor påverkan dels på deras användbarhet i militära scenarion, dels på hur komplexa de är att utveckla. Det långsiktiga målet är decentraliserade svärmlgoritmer med distribuerat ”beslutsfattande”, men centraliserade eller hierarkiska algoritmer är enklare att realisera.

Stora svärmar associeras normalt med användningen av lågkostnadsfarkoster, där svärmar med hundratals FPV-UAV:er (med ett styckepris på ca 10 tkr) utgör ett intressant koncept med tydliga asymmetriska fördelar kopplade till stridsekonomi. Sådana stora svärmar kan realiseras dels genom de metoder som används för samverkande farkoster men vidareutvecklade för att hantera ett större antal individer, dels genom att använda ännu enklare farkoster med specifika svärmlgoritmer som genererar önskade emergenta beteenden. Svärmlgoritmer som realiserar avancerade emergenta beteenden förväntas realiseras främst på längre sikt. Detta dokument fokuserar därför på att beskriva den inkrementella utvecklingen av samverkande grupper som genomför uppdrag.

1.2 Exempel på användningsområden

Många länder utvecklar metoder och algoritmer för samverkan mellan obemannade farkoster och för att realisera svärmbeteenden. I litteraturen beskrivs ett stort antal möjliga användningsområden för svärmar men det råder fortsatt stor osäkerhet kring vilka tillämpningar som de kan förväntas ge betydande fördelar gentemot andra traditionella alternativ. Det finns därmed ett behov av att ge militära användare möjlighet att experimentera med svärmar, genom en kombination av simuleringar och fysiska prov och försök, för att utvärdera i vilka militära scenarion som de skulle kunna utgöra ett alternativ.

Följande fyra uppdragstyper eller förmågor är de som oftast diskuteras:

- Erfarenheterna från Ukraina indikerar att samverkande grupper och större svärmar kan ge avsevärd militär nytta vid bekämpningsuppdrag.
- Det är även troligt att de kan användas i olika typer av spanings- och övervakningsuppdrag.
- En stor utmaning i den framtida operationsmiljön är hur fientliga autonoma UAV:er och svärmar av sådana ska kunna neutraliseras med tillfredställande stridsekonomi, men utvecklingen av egna grupper och svärmar (*interceptors*) kan komma att utgöra ett alternativ.
- Det är även troligt att telekrigsinsatser i form av signalspaning och störning åtminstone kommer utgöra en del av en heterogen svärm, men även rena telekrigsuppdrag är möjliga.

Titel/Title
Autonomi och svärmar – ett diskussionsunderlag

Memo nummer/Number
FOI Memo 8757

2 Hur kan en svärm realiseras?

För att realisera en samverkande grupp eller en svärm behöver flera nivåer av autonoma funktioner utvecklas och implementeras. Det gäller områden som farkostautonomi, uppdragsautonomi och autonoma funktioner som möjliggör samverkan eller mer avancerade svärmbeteenden. Farkostautonomi och uppdragsautonomi för svärmindividerna utgör kritiska förutsättningsskapande funktioner för att samverkande grupper och större svärmar ska kunna realiseras. De utgör nödvändiga byggstenar och deras prestanda har en avgörande påverkan för gruppens eller svärmens prestanda.

Det finns även möjliggörande tekniker som är kritiska för att en svärm ska ge militär nytta, såsom positionerings- och navigeringssystem, samt kommunikationssystem, som möjliggör operationer i telestörda miljöer samt energiförsörjning och framdrivning som ger tillräcklig räckvidd, uthållighet och bärförmåga. Användargränssnitt och metoder för att interagera med en svärm kommer även ha en avgörande betydelse för hur effektiva och användbara svärmar blir i praktiken.

De tekniker som beskrivs utgör inte en komplett beskrivning. De syftar snarare till att ge en allmän förståelse för de olika typer av tekniker och algoritmer som utgör viktiga byggstenar i realiseringen av mindre samverkande grupper och svärmar som utgörs av ett större antal individer. Även om målet är fullt autonoma farkoster och svärmar så visar erfarenheterna från Ukraina betydelsen av att föra in autonoma funktioner successivt. Istället för att utveckla ett system som uppfyller alla användarnas önskemål så får de tillgång till enklare lågkostnadssystem i stort antal, som kan utvecklas över tid [1].

2.1 Autonoma funktioner

Fokus i denna beskrivning är, för enkelhets skull, på användningen av enkla stridstekniska UAV:er.

2.1.1 Farkostautonomi

Farkostautonomi för UAV:er inkluderar funktioner som medger en säker flygning enligt en angiven rutt. Fel-detektion och felhantering kan utgöra en viktig förmåga för större obemannade farkoster men det bedöms inte ha en avgörande påverkan för stora svärmar med enkla UAV:er.

Hinderupptäckt och hinderundvikande behöver finnas, exempelvis för att undvika att de flyger in i varandra, i byggnader eller terränghinder. Sådana metoder finns idag men vidareutvecklade hinderundvikandealgoritmer kan möjliggöra flygning i högre hastigheter i trädkronhöjd eller inuti skog vilket kan ge ytterligare taktiska fördelar och öka sannolikheten för ett lyckat uppdragsgenomförande.

I stora drag så bedöms de viktigaste funktionerna för farkostautonomi finnas tillgängliga, där numerären kan vara en viktigare framgångsfaktor än hur avancerade de är.

2.1.2 Uppdragsautonomi

Viktiga autonoma funktioner för att realisera uppdragsautonomi inom ramen för en svärm är exempelvis:

- Autonoma spaningsfunktioner för automatisk detektion, klassificering och lokalisering av mål.
- Målföljning i slutfasen av ett bekämpningsuppdrag, inklusive förmågan att identifiera och träffa sårbara ställen på målet.
- Autonom verkansbedömning.
- Autonom start och landning.
- Taktisk anflygning.

Titel/Title
Autonomi och svärmar – ett diskussionsunderlag

Memo nummer/Number
FOI Memo 8757

2.1.3 Svärmautonomi

I en svärmskontext kommer delar av uppdragsautonomin att implementeras genom olika svärmsalgoritmer, specifikt de delar som rör samarbetet mellan svärmsindivider och/eller hur de anpassar sig till vad övriga individer gör. Svärmsalgoritmerna utgör då en central del av uppdragsautonomin.

Exempel på funktioner kopplade till svärmautonomi:

- Sökmönster för samverkande grupper eller självorganiserande svärmar vid spanings- och övervakningsuppdrag.
- Synkronisering vid bekämpning: tid, riktning och målfördelning.
- Synkronisering för att undvika kollisioner inom svärmen.
- Formationsflygning.
- Tilldelning av uppgifter och mål till individer – vem gör vad, när och varför (reläfunktion, detektion och lokalisering av mål, bekämpning, telekrig osv).
- Delad situationsuppfattning baserat på individernas lokala perception.

Förmågan att hantera förändringar, återhämta sig från och motstå störningar, är en viktig förmåga hos svärmar. De ska även kunna reagera på händelser och ha förmåga att anpassa sitt beteende.

I den vetenskapliga litteraturen har under närmare 40 år forskning genomförts rörande bioinspirerade metoder för att realisera svärmsbeteenden och i vissa hänseenden är det ett väl utforskat område. Algoritmer för hur samverkande obemannade farkoster eller svärmar kan genomföra spaning och kartering av ett område har utvecklats, men de utgår oftast från ett statiskt scenario och i en militär kontext är det snarare intressant att utveckla strategier och metoder för hur de ska agera vid oförutsedda händelser. Det finns av naturliga orsaker begränsat med information i den öppna litteraturen kopplat till hur mer komplexa militära uppdrag bör realiseras.

2.2 Nyckeltekniker

Följande tekniker utgör, utöver de som beskrivs för farkost-, uppdrags- och svärmautonomi ovan, nyckeltekniker för att realisera samverkande grupper och svärmar av UAV:er:

- Robust och tillförlitlig positionering och navigering i situationer där GNSS inte är tillgängligt.
- Robust kommunikation för operationer i telestörda miljöer. Ambitionen bör dock hela tiden vara att minimera kommunikationsbehovet.
- Sensornära signalbehandling och anpassade processorer (*edge computing*).
- Användargränssnitt och metoder för *human-autonomy teaming* (HAT).

Nyttolasten kommer även påverka realiseringen av svärmar och när de kan och inte kan användas. Ett exempel är utvecklingen av lågkostnadssensorer för det termiska IR-våglängdsområdet som möjliggör genomförandet av uppdrag nattetid utan att drastiskt öka kostnaden. Även lätta och enkla nyttolaster som möjliggör slutfasstyrning mot GNSS- eller radiostörsändare kan ge en stor effekt.

3 Forskning- och teknikutveckling

En beskrivning av utvecklingen av autonoma funktioner för UAV:er i Ukraina ges, varefter utvalda exempel på internationella företag och forskningsprojekt inom området listas.

3.1 Ukraina

I [1] beskrivs utvecklingen och användningen av UAV:er i Ukraina. De ryska väpnade styrkorna använder sig regelbundet av svärmtaktik vid attacker med heterogena långräckviddiga

Titel/Title
Autonomi och svärmar – ett diskussionsunderlag

Memo nummer/Number
FOI Memo 8757

bekämpningssystem bestående av Shahed-farkoster (med kinetiska verkansdelar och som skenmål), UAV:er och kryssningsrobotar. De utför uppdragen helt, eller i huvudsak, parallellt (individuellt förprogrammerade flygbanor) utan möjlighet till kommunikation och koordination. Ukraina genomför attacker på djupet in i ryskt territorium med inhemska utvecklade UAV:er där det finns indikationer på att de nyttjar något mer avancerade metoder för samverkande grupper, men än så länge finns endast begränsad information i öppen litteratur [1].

Prov och försök genomförs med mindre grupper av samverkande UAV:er och det är sannolikt att de kommer användas operativt under 2025 i gradvis ökande omfattning. Svärmar testas nu på testområden i Ukraina men det är oklart om de ännu har använts i telestörda miljöer.

Ukraina bedöms leda utvecklingen och det operativa införandet av UAV:er med olika autonoma funktioner och deras utvecklingscykel, från utveckling till operativt införande (i begränsad omfattning), är nu omkring 3 månader [1]. AI-baserade algoritmer för målföljning i slutfasen av en bekämpning med FPV-UAV:er har under året förts i en ökande omfattning. En intensiv utveckling pågår av automatiserade spaningsfunktioner såsom detektion, klassificering och lokalisering av mål. Denna utveckling är prioriterad, tillsammans med GNSS-oberoende positionerings- och navigeringssystem (främst baserat på bildalstrande sensorer). Autonom start och landning utvärderas operativt. Grunden för autonoma FPV-UAV:er som kan genomföra bekämpningsuppdrag förväntas därmed finnas i närtid. Det är dock troligt att klassificeringsalgoritmerna kommer att behöva förbättras i den fortsatta utvecklingen. Inriktningen i Ukraina är att bekämpningsbeslut ska fattas av en människa, men rent tekniskt är det enkelt att även inkludera bekämpningsbeslutet i mjukvaran. Detta är dock förenat med juridiska och etiska utmaningar, som beroende på det aktuella sammanhanget kan vara mycket komplexa. Det torde också, även här beroende på det aktuella sammanhanget, ställa stora krav på det tekniska systemets egenskaper [2].

Baserat på denna utveckling är det möjligt att skapa samverkande grupper av UAV:er som genomför enklare uppdrag (t.ex. bekämpa ett mål vid en given tidpunkt, från olika riktningar). Dessa kan beskrivas som samverkande grupper av UAV:er som nyttjar svärmtaktik och det är troligt att sådana börjar användas operativt under 2025. Utvecklingen av algoritmer som kan utföra mer komplexa uppdrag pågår.

I [3] beskrivs en demonstration som genomfördes under sommaren 2024 av det ukrainska företaget Swarmer där fem UAV:er samverkar för att genomföra ett kombinerat spanings- och bekämpningsuppdrag. Två UAV:er utför spaning över ett område och letar efter mål. Två större UAV:er är utrustade med fällbara granater, de avvaktar tills de får information om mål och genomför då bekämpning av målet. En UAV flyger slutligen in och genomför verkansbedömning. En ensam operatör leder operationen och anger målområdet, övervakar uppdraget och fattar bekämpningsbeslutet. De två spaningsfarkosterna behöver då vara utrustade med autonoma funktioner såsom val av rutt för anflygning och avsökning av området, samt detektion och lokalisering av mål. De två beväpnade UAV:erna behöver kunna flyga till de angivna målkoordinaterna och ha funktioner för automatisk målföljning, samt automatiskt bedöma när granater ska släppas. Det är oklart om verkansbedömningen sker automatiskt eller manuellt av operatören. De behöver även kunna estimerat sina positioner i telestörda miljöer. UAV:er som agerar som reläknoder är sannolikt en nödvändighet för att öka sannolikheten för att kommunikationen ska fungera. [4]

Det pågår även utveckling av UAV:er som kan agera som moderfarkost till mindre FPV-UAV:er [5]. Den har en längre räckvidd än en FPV-UAV och kan släppa dem närmare målområdet och även agera som kommunikationsrelä till dessa. Ryska förband rapporteras även ha använt sig av detta koncept [6].

Titel/Title
Autonomi och svärmar – ett diskussionsunderlag

Memo nummer/Number
FOI Memo 8757

3.2 Förslag för vidare läsning

Exempel på företag och forskningsprojekt som utvecklar samverkande grupper och svärmar, samt publikationer som FOI tagit fram de senaste fem åren inom området, ges nedan.

3.2.1 Forsknings- och utvecklingsprojekt

Utvalda forsknings- och utvecklingsprojekt listas nedan:

- Replicator⁴ (US DoD).
- Offensive Swarm-Enabled Tactics, OFFSET^{5,6} (DARPA).
- Autonomous Multi-Domain Adaptive Swarms-of-Swarms, AMASS⁷ (DARPA).
- Many Drones Make Light Work⁸ (UK Dstl)
- FFI Valkyrie⁹ (Norge)

Både OFFSET och Many Drones Make Light Work är avslutade men de representerar väl nuläget i utvecklingen och experimenteringen med svärmar för militär användning.

3.2.2 Företag

Följande lista ger exempel på företag som bedriver intressant forskning och utveckling inom området:

- USA: Anduril (Lattice)¹⁰, ShieldAI (HiveMind)¹¹, Raytheon BBN Technologies¹², L3Harris¹³, Red Cat¹⁴ & Sientient Digital (Emergent Swarm)¹⁵
- UK/SE: BlueBear Centurion^{16,17}
- Frankrike: Icarus Swarms¹⁸ & Parrot¹⁹
- Tyskland: Helsing (Altra)²⁰
- Norge: SIXRobotics (Valkyrie)²¹
- Ukraina: Swarmer (Styx)²²

3.2.3 FOI

FOI har under de senaste fem åren skrivit rapporter, memo och vetenskapliga konferensbidrag som på olika sätt relaterar till området:

- Ett flertal översikter har publicerats där svärmar och samverkande grupper av obemannade farkoster har beskrivits [7]-[10].
- Metoder för gemensam avsökning av områden beskrivs bland annat i [11]-[14].
- Metoder för samverkan och svärmar för patrullrobotar diskuteras i [15], [16].

⁴ www.diu.mil/replicator

⁵ www.darpa.mil/program/offensive-swarm-enabled-tactics

⁶ www.popsci.com/technology/drone-swarm-control-virtual-reality/

⁷ www.highergov.com/contract-opportunity/autonomous-multi-domain-adaptive-swarms-of-swarms-hr001123s0010-p-0483c/

⁸ bbsr.co.uk/many-drones-make-light-work

⁹ www.ffi.no/en/news/four-nordic-army-chiefs-visited-ffi-to-look-at-new-technology

¹⁰ www.anduril.com/mission-autonomy/

¹¹ shield.ai/hivemind/

¹² www.darpa.mil/news-events/2021-12-09

¹³ www.l3harris.com/newsroom/editorial/2024/11/13harris-selected-develop-autonomous-swarms-prototype

¹⁴ redcat.red/

¹⁵ sdi.ai/blog/military-drone-swarm-intelligence-explained/

¹⁶ www.saab.com/newsroom/press-releases/2024/saabs-autonomous-swarm-technology-used-in-landmark-aukus-trial

¹⁷ bbsr.co.uk/

¹⁸ www.icaruswarms.ai/

¹⁹ www.parrot.com/en/newsroom/demonstration-de-la-puissance-des-essaims-de-drones-episode-2

²⁰ helsing.ai/hx-2

²¹ www.sixrobotics.com/

²² getswarmer.com

Titel/Title
Autonomi och svärmar – ett diskussionsunderlag

Memo nummer/Number
FOI Memo 8757

- Olika aspekter som kopplar till ledning av framtida samverkande obemannade farkoster har även studerats [17], [18].
- Ett anslagsfinansierat projekt (Zerg) avslutades 2023, där fokus var på att studera svärmar som utför spaningsuppdrag [19]-[22].

Referenser

- [1] J. Rantakokko och J. Nygårds, Obemannade farkoster för markstriden – Erfarenheter från Ukraina, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5723--SE, januari 2025.
- [2] A. Andersson, *Fallstudie: IHR och UCAV*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5703--SE. (under slutförande)
- [3] G. Volpicelli, V. Melkozerova och L. Kayali, 'Our Oppenheimer moment' — In Ukraine, the robot wars have already begun, Politico, 2024-05-16. www.politico.eu/article/robots-coming-ukraine-testing-ground-ai-artificial-intelligence-powered-combat-war-russia/ (besökt 2024-12-12).
- [4] M. Hunder, *Ukraine rushes to create AI-enabled war drones*, Reuters, 2024-07-18. www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/ukraine-rushes-create-ai-enabled-war-drones-2024-07-18/ (besökt 2024-12-13).
- [5] J. Trevithick, *Watch A Ukrainian Uncrewed Aerial Mothership Launch Kamikaze Drones*, The War Zone, 2024-11-21. www.twz.com/air/watch-a-ukrainian-uncrewed-aerial-mothership-launch-kamikaze-drones (besökt 2024-12-13).
- [6] T. Rogoway, *FPV Drone Motherships That Also Relay Their Signals Offer Huge Advantages*, The War Zone, 2024-03-26. www.twz.com/air/fpv-drone-motherships-that-also-relay-their-signals-offer-huge-advantages (besökt 2024-12-13).
- [7] A. Samimi Johansson och M. Norgren, *Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trender*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 8336, december 2023.
- [8] J. Rantakokko, F. Näsström, R. Woltjer, T. Mårtensson, M. Hagström och A. Foyer, *Tekniköversikt obemannade och autonoma system – Del 4: Luftstriden*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5167--SE, januari 2022.
- [9] J. Rantakokko, K. Bengtsson, C. Svensson, R. Lennartsson och M. Skarstind, *Tekniköversikt obemannade och autonoma system – Del 3: Sjöstriden*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5088--SE, december 2020.
- [10] S. Rydell (red.) och M. Olofsson (red.), *Drönare/UAS – teknik och förmågor*, Kungl Krigsvetenskapsakademien, mars 2023. ISBN 978-91-88581-36-5
- [11] D. Lindgren, *Autonom rörelseplanering för agentbaserad områdesbevakning*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 7937, oktober 2022.
- [12] S. Nilsson, T. Andersson, V. Deleskog, D. Lindgren, S. Molin, H. Nilsson, J. Nygårds, G.K. Olsson, H. Petersson, B. Rodhe och J. Rydell, *Autonom bevakning - Statusrapport 2023*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 8501, april 2024.
- [13] S. Nilsson, M. Andersson, T. Andersson, E. Bilock, V. Deleskog, D. Lindgren, S. Molin, J. Nygårds, H. Petersson, B. Rodhe och J. Rydell, *Autonom bevakning - Lägesrapport 2022*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-D--1205--SE, mars 2023.
- [14] T. Gustavi och J. Schubert, *Styrning av en svärm av UAV:er med dynamisk probabilistisk lägesbild*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 7781, december 2021.
- [15] A. Samimi Johansson, K. Lagerkvist Blomqvist, J. Markborg, D. Yang och L. Forssell, *Automatiska funktioner i patrullrobotar*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5498--SE, oktober 2023.
- [16] A. Samimi Johansson och M. Norgren, *Reserapport: Teknikspaning för patrullrobotar från DSEI 2023*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 8278, oktober 2023.

Titel/Title
Autonomi och svärmar – ett diskussionsunderlag

Memo nummer/Number
FOI Memo 8757

- [17] P. Svenmarck, A. Melbi, A. Pestrea, P.-A. Oskarsson, A. Andersson och P. Winther, *Konsekvenser för ledning av autonoma samverkande system: Slutrapport*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--552-SE, december 2023.
- [18] P.-A. Oskarsson, P. Svenmarck, M. Wikström och A. Pestrea, *Framtida ledning av autonoma samverkande system – Årsrapport 2024*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 8648, november 2024.
- [19] J. Markdahl, E. Branzén, V. Deleskog, T. Gustavi, J. Karlsson, K. Lagerkvist Blomqvist, R. Lilja, E. Lindgren, J. Markborg, M. Norgren, J. Schubert, M. Vikgren och L. Forssell, *Projekt ZERG – Årsrapport 2022*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-D--1232--SE, februari 2023.
- [20] M. Vikgren, J. Schubert, T. Gustavi, L. Forssell, E. Branzén, J. Markdahl och J. Markborg, *Projekt ZERG – Årsrapport 2021*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 8197, juni 2023.
- [21] A. Samimi Johansson och J. Markdahl, “Swarm Bug Algorithms for Path Generation in Unknown Environments,” *Proc. of The 62nd IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, Singapore, December 2023. (FOI-S--6782--SE)
- [22] M. Vikgren och J. Markdahl, “tinySLAM-based area exploration with a swarm of nano-UAVs,” *Proc. of 6th International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics*, januari 2023. (FOI-S--6622--SE)