



FOI MEMO

Projekt/Project

Sidnr/Page no

Styrda vapen och robotteknik

1 (20)

Projektnummer/Project no Uppdragsgivare/Client

E85142

Försvarsmakten

FoT-område

Vapen och skydd

Datum/Date

Memo nummer/Number

2025-09-22

FOI Memo 8955

Författare/Author

Anton Åkesson och Magnus Evestedt

Samverkande robotar – Omvärldsbevakning

Sammanfattning

Samverkande robotar utbyter information med andra vapen eller plattformar. I detta memo sammanställs ett urval av den akademiska forskning på samverkande robotar som utförts sedan FOI studerade ämnet under tidigt 2000-tal. Ett antal möjliga fördelar med informationsutbyte mellan robotar har identifierats inom exempelvis målupptäckt, målval, mättnad av luftvärn, navigering och verkansutvärdering. Även typiska utmaningar som komplex mjukvara och kostnad presenteras. Beskrivningen är översiktlig och ingen värdering görs av specifika algoritmer. I memot nämns också några utvalda forskningsprogram inom området samt en rad produkter som utvecklats inom försvarsindustrin och som nu finns tillgängliga på marknaden. Tydliga trender i industrin är samverkande patrullrobotar samt lanseringen av ramverk som möjliggör samverkan där både vapen och sensor- eller telekrigsplattformar kan ingå.

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

Innehåll

1	Inledning	3
1.1	Syfte	3
1.2	Historisk bakgrund	3
2	Forskning på samverkande robotar	4
2.1	Fördelar och tillämpningar	4
2.1.1	Målmättnad	4
2.1.2	Yttäckning	4
2.1.3	Utökning av envelopp mot luftmål	4
2.1.4	Tilldelning av unika mål	4
2.1.5	Sensorfusion	5
2.1.6	Navigering	5
2.1.7	Verkansutvärdering	5
2.1.8	Hypersonik	5
2.1.9	Formationsflygning	5
2.1.10	Robot mot luftmålsrobot	6
2.1.11	Heterogena samverkande robotar	6
2.1.12	Stödfunktioner och adjunkter	6
2.2	Utmaningar	6
2.2.1	Kommunikation	6
2.2.2	Kostnad	7
3	Forskningsprogram och system på marknaden	7
3.1	Forskningsprogram	7
3.1.1	Low-Cost UAV Swarming Technology	8
3.1.2	Netted Emulation of Multi-Element Signature against Integrated Sensors	8
3.1.3	Collaborative Operations in Denied Environments	8
3.1.4	Low Cost Cruise Missile	8
3.1.5	Gray Wolf	8
3.1.6	Golden Horde	9
3.1.7	Cooperative Missile Project	9
3.2	System på marknaden	9
3.2.1	Elbit	9
3.2.2	Rafael	9
3.2.3	Lockheed Martin	9
3.2.4	MBDA	10
3.2.5	Raytheon	10
3.2.6	Anduril	11
3.2.7	Övriga	11
3.3	Trender	12
3.3.1	Utveckling av ramverk	12
3.3.2	Patrullrobotar	12
3.4	Slutsats	12
4	Referenser	12

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

1 Inledning

Detta memo utgör den formella redovisningen av en av milstolparna i FoT-projektet Styrda vapen och robotteknik 2025 (Vapen och Skydd).

Samverkande robotar, det vill säga robotar vars beteende påverkas av informationsutbyte med andra vapen eller plattformar¹, studerades på FOI under tidigt 2000-tal [1, 2]. De forskningsfrågor som identifierades i det arbetet är till stor del fortfarande aktuella, men nya tillämpningar och frågeställningar har tillkommit. Samverkan har i litteraturen föreslagits för vapen som i kostnad och komplexitet spänner från granatspruteammunition till hypersoniska glidfarkoster och ballistiska robotar. Tekniken har nu dessutom demonstrerats praktiskt och ett flertal typer av samverkande robotar finns på marknaden, huvudsakligen patrull- och kryssningsrobotar.

1.1 Syfte

Detta memo är en omvärldsbevakning avsedd att ge en översiktlig bild av möjliga fördelar med att låta vapen utbyta information samt att belysa tekniska utmaningar som identifierats och presentera möjliga lösningar på dessa. I memot identifieras trender för den teknikutveckling och forskning som bedrivs inom industri och akademi. Dessutom ges konkreta exempel på existerande och planerade samverkande vapen.

1.2 Historisk bakgrund

De sovjetiska sjömålsrobotarna P-500 Bazalt (SS-N-12 "Sandbox") och P-700 Granit (SS-N-19 "Shipwreck"), som togs i bruk under 1970- och 1980-talet, hävdas ofta i den öppna litteraturen ha en mycket sofistikerad samverkansförmåga med tanke på systemens ålder. Efter att ha avfyrats i salva ska en av robotarna ha stigit till högre höjd med tänd radar och tilldelat mål till övriga robotar på lägre höjd samt länkat måldata till dessa. Om ledarroboten skjuts ner ska en annan robot ta ledarrollen. Eventuellt kan de lågtflygande robotarna dessutom ha haft en semiaktiv mod där ekot från ledarens tända radar kunde utnyttjas [3, 4]. Det är svårt att avgöra hur väl beskrivningen återger robotarnas faktiska förmåga men den visar på ett par av de möjliga fördelarna med samverkande vapen: ökad överlevnad och effektivare användning av robotar i en miljö med flera mål.

På 1990- och 2000-talet gjordes en rad amerikanska studier om samverkande patrullrobotar (då benämnda Wide Area Search Munition, WASM), se till exempel [5–8]. Den jetdrivna och lidarförsedda patrullroboten LOCAAS (*Low Cost Autonomous Attack System*) var avsedd att uppträda autonomt i svärmar. Ett prov gjordes där en fysisk LOCAAS samverkade med simulerade exemplar för att hitta och samordnat bekämpa ett mål [9], men vapnet togs aldrig i bruk. Forskning på samverkande robotar och relaterade områden har fortsatt i USA under de följande decennierna och pågår alltjämt.

¹I denna omvärldsbevakning har definitionen hållits väl bred. Två huvudsakliga teman utforskas: samordning av manövrar samt utnyttjande av delad information, båda med betoning på teknik som inte redan är allmänt spridd. Potentiellt viktiga tillämpningar skulle riskera att gå obemärkt förbi med en smal och strikt definition.

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

2 Forskning på samverkande robotar

I detta kapitel ges exempel på möjliga fördelar med att låta robotar samverka. Dessutom redovisas de begränsningar och utmaningar som identifierats.

2.1 Fördelar och tillämpningar

De tillämpningar och möjliga fördelar som inom den akademiska forskningen föreslagits för samverkande robotar spänner över tid från banfas via slutfas till verkansutvärdering, och över ett antal discipliner som banplanering, navigering och målsökning.

2.1.1 Målmättnad

Målmättnad är eftersträvarsvårt för att överlasta en motståndares försvarssystem. Vapen utan inbördes kommunikation kan samordnas för att träffa målet samtidigt och från olika riktningar genom ruttplanering. Detta förutsätter dock att målets position är känd på förhand. I litteraturen har en rad metoder föreslagits för att genom samverkan minska spridningen i ankomsttid samt möjliggöra synkronisering mot mål vars position inte är känd på förhand [10–15]. Ofta antas förenklade modeller av robotarnas rörelser men exempel finns på metoder som bygger på mer komplexa beskrivningar [16, 17]. Typiskt antas sjö- eller markmål som är långsamma i förhållande till robotarna men metoder för synkroniserad ankomst till manövrerande luftmål har också föreslagits [18]. En variant på det senare är att förskjuta ankomsttiden för att motmedel eller undanmanövrar mot den första roboten inte ska påverka övriga robotar [19].

2.1.2 Yttäckning

Flera studier har genomförts på hur patrullrobotar kan samverka för att genom spaning och hot om bekämpning trycka ner motståndaren över ett område [2, 8, 20]. En skillnad från ren spaning med en svärm är att de spanande robotarna förbrukas i takt med att de verkar mot upptäckta mål varför nyttan med bekämpning måste vägas mot den med fortsatt spaning [7].

2.1.3 Utökning av envelopp mot luftmål

Inom luftvärn, företrädesvis mot robothot, har man på senare år studerat möjligheten att låta robotar skjutna i salva sprida ut sig för att täcka upp för eventuell undanmanöver och osäkerhet i måldata [21–27]. En fördel som lyfts fram är att mindre manövrerbara robotar därmed fortfarande kan vara effektiva mot kraftigt manövrerande mål [24]. I regel antas i dessa studier att banoptimeringen för flera robotar görs globalt vilket inte nödvändigtvis kräver att robotarna utbyter information med varandra. En variant på robotar i salva mot luftmål är att skjuta robotarna med fördröjning: när föregående robot öppnar målsökaren kan efterföljande robotar utnyttja förbättrade måldata för banjusteringar vilket förbättrar deras träffsannolikheter [21, 28].

2.1.4 Tilldelning av unika mål

Om flera vapen verkar samtidigt inom ett område kan samverkan förhindra att onödigt många vapen bekämpar samma mål. En tillämpning som studerats är styrda substridsdelar [29]. Det är möjligt att definiera regler för unik måltilldelning utan samverkan, något som tycks vara fallet med pansarvärnsroboten Brimstone, exempelvis genom att låta robot nummer n i en salva bekämpa det n -te målet den detekterar. För robotar som anflyger från olika riktningar är det dock inte givet att de detekterar mål

Titel/Title

Samverkande robotar – Omvärldsbevakning

Memo nummer/Number

FOI Memo 8955

i samma ordning, något som kan hanteras genom samverkande måltilldelning som inte kräver lika starka antaganden om övriga robotar.

Inom luftvärn finns flera studier på hur luftvärnsrobotar kan fördelas mellan flera mål med hänsyn till optimala banor med avseende på flygtid eller energiförbrukning [30]. Varianter på shoot-shoot-look-doktrin har föreslagits där luftvärnsrobotar avfyras med viss fördröjning utan att nödvändigtvis ha ett specifikt mål tilldelat vid avfyrning. I stället styrs en efterföljande robot mot en punkt varifrån den kan genskjuta ett av flera hot som skulle kunna ha missats av den första omgången robotar [27].

2.1.5 Sensorfusion

Informationsutbyte kan användas för att erhålla bättre måldata än vad som är möjligt med en enskild målsökare [31–34], exempelvis genom krysspejling. Möjligheterna till sensorfusion kan även vägas in i banplaneringen genom att robotarna hålls separerade i vinkel relativt målet [35]. En annan möjlighet med sensordelning är att öka överlevnaden. Om en eller flera robotar tillhandahåller måldata kan övriga flyga an i skydd av terräng eller med släckt radarmålsökare [2].

2.1.6 Navigering

Samverkande robotar skulle kunna utnyttja den avståndsinformation som datalänken eller dedikerade sensorer kan ge om den inbördes positionen för att korrigera fel i tröghetsnavigeringen [36]. Prestanda vid samverkande positionsbestämning kan förbättras ytterligare genom att utnyttja vapnens höjdmätare eller GNSS-information tillgänglig hos enstaka robotar [37]. I [38] nämns även utnyttjande av tidsförskjutningar av signaler från till exempel mobilnät för att positionsbestämma en svärm. Även vid bildbaserad navigering på låg höjd torde fördelar kunna dras av att flera robotars sensorer sveper över en större markyta än en enskilds.

2.1.7 Verkansutvärdering

Samverkan kan underlätta utvärdering av vapenverkan. Ett vapen skulle kunna ta emot data från ett annat vapens slutfas för vidarebefordran eller behandling ombord samt undersöka målet med sina egna sensorer och beroende på utfallet upprepa bekämpningen eller tilldelas lägre prioriterade uppgifter [8].

2.1.8 Hypersonik

Studier har gjorts på samverkande hypersoniska glidfarkoster. Fokus ligger ofta på målmättnad men lösningsmetoderna kan skilja sig från de som används vid lägre hastigheter på grund av annan dynamik och krav på att begränsa aerodynamisk uppvärmning [17]. Studier har även gjorts där måltilldelning beaktas [39]. Även möjligheterna till anfall där hypersoniska vapen och ballistiska robotar samverkar för att uppnå simultana nedslag från flera riktningar har studerats [40]. Plasma som uppstår vid hypersonisk fart kan försvåra kommunikation under delar av banan, vilket talar för att samordna vapnen utan inbördes samverkan [40].

2.1.9 Formationsflygning

Genom att flyga i formation skulle det kunna vara möjligt att på radar framstå som *ett* mål, något som lyfts fram som en möjlig fördel med samverkan [41, 42]. Möjliga räckvidds- eller uthållighetsvinster skulle kunna fås genom att likt flyttfåglar utnyttja formationen till att minska luftmotståndet [43]. Försök med stridsflygplan har visat på minskat luftmotstånd för det följande flygplanet på omkring 20 % [44]. Fördelarna för en robot skulle bero på hur stor del av luftmotståndet som är inducerat, samt strömningsfältets egenskaper nedströms roboten, och somliga robottyper kommer att lämpa sig bättre än andra.

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

2.1.10 Robot mot luftmålsrobot

En robot avsedd som motmedel mot jakt- eller luftvärnsrobotar skulle kunna samverka med flygplanet som avfyra den för att minimera den erforderliga manövern hos roboten eller maximera avståndet till flygplanet vid träffögonblicket [33, 45, 46]. Om hotrobotens styrslag kan identifieras kan bomavståndet bli mycket litet trots låg manöverförmåga hos motmedelsroboten [33].

2.1.11 Heterogena samverkande robotar

Samverkande robotar behöver inte vara identiska. En möjlighet är att förse endast en ledarrobot i en salva med kvalificerad målsökare. Övriga robotar skulle kunna förses med enklare sensorer och endast manövrera i förhållande till ledaren [47, 48]. Ett sådant tillvägagångssätt skulle kunna användas för att skräddarsy splittfördelningen för en styrd bombkapsel [47] eller för att låta ledarroboten styra målsökarlösa robotar via ledstråle [49]. I fallet där samverkande robotar täcker målets möjliga undanmanövrar skulle en mix av manövrerbara och mindre manövrerbara robotar i en salva kunna vara mer kostnadseffektivt än att enbart använda manövrerbara robotar [23].

2.1.12 Stödfunktioner och adjunkter

Samverkande robotar behöver inte nödvändigtvis samverka enbart med andra robotar utan kan ingå i nätverk med rena spanings- eller telekrigsplattformar. Formfaktorer och flygtekniska prestanda för dessa plattformar kan vara jämförbara med vapnen, se till exempel Andurils Altius-serie av UAV:er och patrullrobotar [50] eller MBDA:s kryssningsrobot Spear med telekrigsversionen Spear-EW [51]. Skenmål, störare och robotar skulle därmed kunna tänkas manövrera samordnat för att maximera vapnens överlevnad. En möjlig tillämpning för samverkande telekrigsplattformar är att generera falska målspår mot radarer i nätverk, något som kräver samordning av de egna banorna [52]. Eftersom plattformarna som vapnen samverkar med kan vara återanvändbara eller ha längre uthållighet än vapnen blir det ekonomiskt försvarbart att förse dem med mer kvalificerade nyttolaster än vad som bärs av till exempel en jaktrobot.

2.2 Utmaningar

För att de nämnda fördelarna med samverkande robotar ska realiseras krävs att de algoritmer och styrprogram som används är robusta och tillräckligt generella för att kunna nyttjas även i situationer som skiljer sig från de labbmiljöer i vilka de först demonstrerats. Vidare måste robotarna, stridsledningssystemet eller en operatör kunna avgöra vilka beteenden och vilket antal robotar som krävs i en given situation. Den tekniska svårigheten i att ta fram den nödvändiga mjukvaran för samverkan kan vara betydande och ska inte underskattas, även om den beror på samverkansformen.

Även den krävda beräkningskraften beror på vilken typ och grad av samverkan som ska uppnås. Fördelning av lagring och behandling av data över robotarna samt hur och i vilken mån data bör behandlas lokalt givet begränsad länkbandbredd är ett område av intresse [41].

Utöver dessa svårigheter är själva kommunikationen mellan robotarna, samt ekonomin i att utnyttja flera robotar åt gången, utmaningar som kännetecknar samverkande robotar.

2.2.1 Kommunikation

En central utmaning med samverkande robotar är hur informationsutbytet ska ske. Kommunikationen kan under delar av rutten vara begränsad på grund av telekrig eller terräng och av att sändningar

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

medför en röjningsrisk. Relativa hastigheter mellan robotarna kan vara stora vilket ger stor Dopplerförskjutning av radiosignaler. Kommunikation med andra medel än radio, till exempel genom att använda laserlänk, eller genom att observera andra robotars beteende, har lyfts fram som möjliga vägar framåt [41]. Kommunikation genom optisk fiber via eldenheten är för vissa typer av robotar en möjlighet som ger hög bandbredd och störfasthet, låg röjningsrisk samt goda möjligheter att placera beräkningskraften utanför roboten [53].

Röjningsrisk och begränsad bandbredd innebär att det kan vara aktuellt med algoritmer för att bedöma behovet av att sända till andra robotar [1, 54]. I komplexa nätverk av robotar och plattformar måste cybersäkerhetsaspekter beaktas för att förhindra att motståndaren får tillgång till nätverket.

2.2.2 Kostnad

Datalänkar och beräkningsresurser ombord som är nödvändiga för samverkan kan medföra en ökad kostnad för vapnen både direkt och genom krav på vikt, volym och effekt. Den relativa kostnaden torde vara liten för större robotar men skulle kunna vara ansevärd för mindre robotar. En viktigare kostnadsaspekt är användandet av flera robotar åt gången. Om målet kräver en viss storlek på verkansdel eller fart på roboten kommer utrymmet för att reducera vapnets kostnad att vara begränsat. Därför är det inte givet att salvan blir billigare även om en enskild samverkande robot kan göras billigare än en mer kvalificerad robot avsedd att användas ensam. Även i de fall där flera mindre robotar är ett alternativ kommer kostnaden för exempelvis sensorer att öka om inte samverkan kan kompensera för lägre kvalitet på sensorerna [55].

Givet detta ter det sig rimligt att förse robotar som ändå skulle skjutas flera åt gången (för att uppnå målmättnad, yttäckning eller verkan i flera målobjekt samtidigt) med samverkansförmåga för att minska antalet robotar som krävs för att uppnå verkan. En annan möjlighet är att förse robotar som på egen hand endast skulle vara effektiva mot lågkvalificerade mål med samverkansförmåga för att göra det möjligt att bättre anpassa vapeninsatsen efter målet. Här skulle ett exempel kunna vara billiga luftvärnsrobotar framför allt avsedda för Counter-UAS-rollen som i en samverkande salva kanske även skulle kunna slå ut snabba och manövrerbara hot.

3 Forskningsprogram och system på marknaden

Utvecklingen av samverkande robotar har pågått länge inom ramen för ett antal forsknings- och utvecklingsprojekt i olika länder. Amerikanska projekt och produkter tenderar att vara mer synliga överlag, särskilt i omvärldsbevakningens öppna huvudsakligen engelskspråkiga källor, vilket gör det svårt att jämföra aktiviteten med andra länder.

3.1 Forskningsprogram

I USA har forskning på och utveckling av samverkande robotar och andra samverkande farkoster pågått sedan åtminstone 1990-talet. Under det tidiga 2000-talet bedrevs forskning aktivt både i Sverige och utomlands men här presenteras endast projekt som tillkommit sedan dess.

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

3.1.1 Low-Cost UAV Swarming Technology

Low-Cost UAV Swarming Technology (LOCUST) är ett projekt för svärmande drönare som bedrivs av Office of Naval Research (ONR). År 2016 genomfördes försök med en svärm på 30 stycken Coyote Block I, en UAV vars utbytbara nyttolast bland annat möjliggör användning som patrullrobot [56, 57]. ONR tycks nu ha växlat till att studera heterogena svärmar samt autonom samverkan över domängränserna [58].

3.1.2 Netted Emulation of Multi-Element Signature against Integrated Sensors

Netted Emulation of Multi-Element Signature against Integrated Sensors (NEMESIS) var ett ONR-projekt om samverkande telekrig som drevs under 2010-talet. Information om och resultat från projektet är knapphändig. En del av arbetet inom projektet handlade om samverkande fartygsburna skenmål och störare [59, 60]. Flygprov med demonstratorn Netted Offboard Miniature Active Decoy (NOMAD) i formation genomfördes 2017 och skenmålsprojektet Long Endurance Electronic Decoy (LEED) tycks vara relaterat [61].

3.1.3 Collaborative Operations in Denied Environments

Collaborative Operations in Denied Environments (CODE) var ett DARPA-program för uppdragsautonomi². Programmet syftade till att ta fram algoritmer och en mjukvaruarkitektur lämpad för att ge existerande system samverkansförmåga även under förhållanden med begränsad kommunikation med varandra och med operatör [63]. Efter framgångsrika flygprov fördes programmet över till Naval Air Systems Command (NAVAIR) 2019, där arbetet eventuellt vidareutvecklats till Research & Autonomy Innovation Development Environment & Repository (RAIDER) [64, 65]. Raytheon, som utvecklade mjukvara under det ursprungliga CODE-programmet, ska 2024 åter ha utnyttjat resultat från CODE i flygprov för att demonstrera kompatibilitet med annan mjukvara för autonomi [66].

3.1.4 Low Cost Cruise Missile

Low Cost Cruise Missile (LCCM) var ett projekt för billiga samverkande kryssningsrobotar där ONR och Air Force Research Laboratory (AFRL) ingick [67]. Svärmbeteende demonstrerades med Coyote Block III i prov 2018–2020 [68]. En möjlig länk till LOCUST, utöver ONR:s medverkan, är att Georgia Tech Research Institute bidragit med algoritmer för autonomi åt båda projekten [68, 69]. Tekniken för autonomi överfördes sedan till Golden Horde-projektet [68].

3.1.5 Gray Wolf

Gray Wolf är ett AFRL-projekt för billiga samverkande kryssningsrobotar som delvis byggde på LCCM. Medel för utveckling av samverkansförmåga inom projektet kom att styras över till Golden Horde [70]. Även om projektet i sig inte kom att driva teknikutvecklingen av samverkan är det intressant i och med att det visar på en typ av vapen som ansetts vinna på samverkan. Den typen, med låg tillverkningskostnad och modulär nyttolast samt tvåvägsdatalänk, har lanserats av flera tillverkare. Somliga av de lanserade produkterna, till exempel Andurils Barracuda [71] och L3Harris Red/Green Wolf [72], har uttalat samverkansförmåga.

²Automatiserat genomförande av militära uppdrag [62].

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

3.1.6 Golden Horde

Teknik från tidigare projekt fördes över till det AFRL-ledda projektet Golden Horde inom vilket dynamisk omallokering av mål och samtidigt nedslag demonstrerats i prov med fyra glidbomber av typen GBU-39 försedda med tvåvägsdatalänk och signalsökande målsökare, då benämnda Collaborative Small Diameter Bomb (CSDB). CSDB är att betrakta som en teknikdemonstrator och lanserades aldrig på marknaden. Ambitioner fanns att även ge det jetdrivna och flygplansburna skenmålet Miniature Air-Launched Decoy (MALD) samverkansförmåga inom ramen för projektet [73] men de realiserades inte. Efter framgångsrika prov med CSDB år 2021 riktades projektet om mot *Live, Virtual, and Constructive* (LVC)-utprovning och demonstrering av teknik för samverkande vapen. Tekniken för samverkan inom Golden Horde byggde på fördefinierade beteenden genom så kallad "play calling" [74].

3.1.7 Cooperative Missile Project

Brittiska DSTL driver samarbete med industri och akademi kring samverkande robotar inom projektet Cooperative Missile Project, tidigare benämnt Cooperative Strike Weapons Technology Demonstrator. I projektet behandlas huvudsakligen svärmar i storlek från två till tiotals agenter men troligtvis inte fler än 20. Svärmarna är tänkta att operera i en kraftigt telestörd miljö varför samverkan måste vara möjlig utan andra nätverksnoder än robotarna inom svärmen, även om resurser i ett större nätverk kan nyttjas när så är möjligt. Den utåt mest synliga delen är de tävlingar som utlysts där mindre aktörer i industri och akademi valts ut för att utveckla viss teknik tillsammans med MBDA och Thales. Utlysningarna [41, 75] har varit breda och täckt allt från störfasta datalänkar till metoder för samverkande navigering. Även bland de vinnande förslagen finns stor teknisk bredd [76].

3.2 System på marknaden

På senare år har en rad robotar lanserats med någon form av samverkansförmåga. Dessutom finns ett antal mjuk- och hårdvarulösningar för uppdragsautonomi och samverkansförmåga på marknaden. Somliga av de senare erbjuds endast till tillverkarens robotar men flera erbjuds för integrering med tredje parts vapen.

3.2.1 Elbit

Elbit erbjuder ramverket Dominion-X (tidigare Legion-X [77]) för hantering av heterogena svärmar, inklusive markfordon, med användningsområden från övervakning till bekämpning. Systemet är operativt och testat i strid. Autonomi ska vara distribuerad i svärmen [78, 79]. Exakt vilka vapen som integrerats med Dominion-X framgår inte, men marknadsföringen [80] visar Elbits patrullrobot Skystriker. Kvadrokopter-patrullroboten Lanius som nu försvunnit från Elbits hemsida var också integrerad med Dominion-X [81].

3.2.2 Rafael

Sjömåls- eller kryssningsroboten Sea/Ice Breaker från Rafael, numera även marknadsförd av General Atomics under namnet Bullseye, har en salvmod för att mätta luftvärn som sägs innebära samverkan mellan robotarna [82].

3.2.3 Lockheed Martin

Lockheed Martins sjömålsrobot LRASM anses ha sofistikerad autonomi [3] och har i media hävdats vara samverkande [83]. Från tillverkaren finns inga uppgifter som direkt styrker samverkan men ett skjutprov med fyra LRASM ger visst fog för spekulationer därom [84].

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

3.2.4 MBDA

MBDA:s lätta kryssningsrobot Spear ska få samverkansförmåga genom tillverkarens mjukvara Orchestrike [42]. Dynamisk målallokering och ruttplanering möjliggörs genom en blandning av klassiska algoritmer och AI, och förmågor i ruttplaneringen ska innefatta samtidigt nedslag, omvägar kring luftvärn samt val mellan utspridd och tät formation. Orchestrike kommer även till telekrigsversionen Spear-EW (fig. 1) samt till vissa andra vapen från MBDA. Mjukvaran kan också bli aktuell för vapen från andra tillverkare [42, 51, 85, 86].



Figur 1: MBDA Spear-EW. Bildkälla: Wikimediaanvändaren Bumper12, CC0 1.0.

3.2.5 Raytheon

Raytheon tillverkar serien Coyote. Block I (fig. 2a) är en elmotordriven UAV lik AeroVironments Switchblade 300 med modulär last som tillåter den att konfigureras som bland annat patrullrobot. LOCUST-projektet använde Coyote Block I till sina flygprov. Block II (fig. 2b) är att betrakta som en turbojetdriven luftvärnsrobot för Counter-UAS-rollen (C-UAS) men det är oklart om den har samverkansförmåga. Det finns få bilder på Block III men åtminstone i icke-kinetisk C-UAS-konfiguration påminner den mycket om Block I, fast med en vinge närmare tyngdpunkten och fenorna monterade på buken [87]. Block III användes i LCCM-programmets flygprov. Nyligen har versionen Launched Effects, Short Range (LE SR) offentliggjorts. Den marknadsförs uttryckligen med samverkansförmåga och modulär last. Det kan inte dras några slutsatser om hur roboten ser ut baserat på det bildmaterial som finns tillgängligt. Ett pressmeddelande [88] visar en robot med ett skrov som påminner om skrovet på Block II med en sensorgimbal under nosen. En annan bild som uppges föreställa LE SR avviker tydligt från Block II [89]. Någon variant av Coyote tycks ha fungerat med Collins autonomiramverk RapidEdge [90].



(a) Block I. Bildkälla: NOAA via Wikimedia. US public domain.



(b) Block II. Bildkälla: Wikimedia-användaren Mztourist, CC BY 4.0.

Figur 2: Raytheons Coyote-serie.

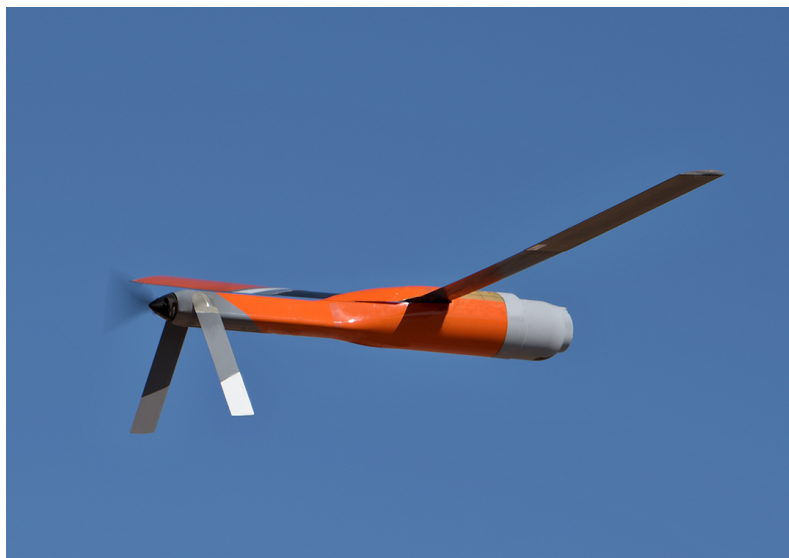
Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

Telekrigsversionen MALD-J av skenmålsroboten MALD låg till grund för demonstratorprojektet MALD-X, bland annat med syfte att demonstrera fördelar med samverkande robotar för telekrig. Flygprov gjordes 2018 men det har inte gått att fastställa huruvida samverkan demonstrerades. Versionen MALD-N som beställts av amerikanska flottan bedöms bygga på MALD-X [91, 92]. Eventuell koppling mellan valet att inte ge MALD samverkansförmåga inom Golden Horde och beställningen av MALD-N är okänd. MALD-J ska kunna uppträda parvis [93].

3.2.6 Anduril

Företagets produkter, som spänner från sensormaster till kryssningsrobotar, är i regel integrerade med det egna ramverket Lattice. Ramverket tycks ha börjat som ett beslutsstöds- och ledningssystem men har numera ambitiös funktionalitet för uppdragsautonomi och samverkan under namnet Lattice for Mission Autonomy. Utöver de egna produkterna ska det vara möjligt att integrera produkter från tredje part i Lattice [94].

Altius-serien (fig. 3) av propellerdrivna patrullrobotar och drönare med modulär last har använts i flera demonstrationer av samverkan, till exempel 2022 med 28 stycken i luften [95]. Nämnvärt är att Altius även använts för att demonstrera Collins autonomilösning RapidEdge, då med dedikerad hårdvara ombord [96]. Altius har beställts av Storbritannien åt Ukraina [97].



Figur 3: Anduril (tidigare Area-1) Altius-600. Bildkälla: Jose Mejia-Betancourth, US public domain.

Barracuda-serien av jetdrivna kryssningsrobotar är framtagen för att uppnå låg tillverkningskostnad och finns i flera storlekar med olika räckvidd och möjlighet att förses med verkansdel eller annan nyttolast [98]. Autonomi och samverkan genom Lattice lyfts särskilt fram. Om Barracuda förses med telekrigslast skulle den konkurrera med MBDA:s Spear och Spear-EW.

Lattice används också i kvadrokoptern Bolt och den jetdrivna återanvändbara farkosten Roadrunner (vars namn och C-UAS-roll antyder konkurrens med Raytheon's Coyote), båda med verkansdelsförsedda versioner. Detta gör att ramverket sticker ut genom den bredd av vapen som är integrerade.

3.2.7 Övriga

Ett antal patrullrobotar marknadsförs som samverkande med andra patrullrobotar eller med spanings-UAV:er [99–106] men typen av samverkan och hur väl den fungerar är svårbedömd utifrån marknads-

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

föringsmaterial och varierar troligen betydligt från fall till fall. Bland de samverkande patrullrobotarna återfinns minst två ryska [103, 104]. Även ramverk för autonomi finns från ett antal andra tillverkare än de tidigare nämnda [96, 107–109].

På kinesiska universitet bedrivs omfattande forskning på samverkande robotar men det är svårt att avgöra i vilken grad produkter lanserats av kinesiska företag. Det är möjligt att patrullroboten FH-901 demonstrerats samverka [110] och det skrivs en del om lanserade samverkande robotar i kinesisk media.

3.3 Trender

I industrin kan två huvudsakliga trender inom samverkande robotar identifieras: utveckling av ramverk och lösningar som möjliggör samverkan mellan robotar och plattformar av olika typ samt den omfattande lanseringen av samverkande patrullrobotar.

3.3.1 Utveckling av ramverk

En tydlig trend är utveckling av ramverk för samverkan mellan olika vapen och UAV:er som inte nödvändigtvis behöver vara låsta till en viss tillverkare. Det är tänkbart att ett lämpligt ramverk skulle kunna ge någon form av samverkansförmåga åt i princip varje robot som har en tvåvägsdatalänk, om inte annat genom att lägga ut målval och ruttplanering på en extern beräkningsnod. Mer sofistikerad samverkan, till exempel samverkande navigering i en kraftigt störd miljö, torde dock vinna på att roboten har hård- och mjukvara avsedd för ändamålet. Det är inte helt uppenbart vilka anpassningar som skulle krävas för att integrera ett givet ramverk med ett nytt vapen. Åtminstone RapidEdge från Collins tycks förutsätta att roboten förses med en dator- och datalänksmodul specifik för just det ramverket [111].

3.3.2 Patrullrobotar

Patrullrobotar dominerar bland de system som marknadsförs med samverkansförmåga idag. Några möjliga anledningar är, utöver att dessa vapen har relativt låg utvecklingskostnad och utgör en betydande andel av de styrda vapen som lanseras idag, att de redan är försedda med tvåvägsdatalänk och sensorer lämpade att spana av en yta. Vidare ger den långa uthålligheten hos patrullrobotar möjligheter till samverkansformer som vore svåra att realisera eller som ger begränsad nytta på ett vapen med kort tid i luften. I skrivande stund studeras samverkande patrullrobotar i FOI:s projekt UCAV Demo i syfte att identifiera taktiskt användbara samverkande beteenden.

3.4 Slutsats

En betydande mängd fördelar med och tillämpningar för samverkande robotar var känd kring millennieskiftet och utvecklingen av några vapensystem var långt gången även om de inte förbandssattes. På senare år har tekniken mognat och det finns nu ett ökande antal produkter på marknaden. Tillverkare i västvärlden dominerar i omvärldsbevakningens källor men produkter finns även lanserade av ryska och troligen kinesiska tillverkare. Antalet ramverk för samverkan med vapen från tredje part kombinerat med att tvåvägsdatalänkar blir vanligare kan innebära att samverkande robotar sprids snabbare än de gjort enbart genom nyanskaffning.

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

4 Referenser

- [1] P. Alvå, F. Andersson, M. Hagström, J. Pelo, D. Wallström, S.-L. Wirkander och P. Ögren, "Samverkande robotar i nätverk - Slutrapport.", FOI-R--1826--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), 2005.
- [2] P. Alvå, "Samverkande robotar i nätverk - Spelkort och typsituationer", FOI-R--1108--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), 2003.
- [3] E. Huberdeau, *JANES WEAPONS: Naval*, Jane's Group UK Ltd, 2021-2022 utg., 2021.
- [4] Army Training & Doctrine Command, "P-700 Granit (SS-N-19 Shipwreck) Russian Medium-Range Anti-Ship Cruise Missile", 2025. <https://odin.tradoc.army.mil/WEG/Asset/9b1823e0be3a1e39eb65bc96d24c2e7d> (Läst 2025-02-19).
- [5] P. Scerri, E. Liao, J. Lai och K. Sycara, "Coordinating Very Large Groups of Wide Area Search Munitions", i *Theory And Algorithms For Cooperative Systems, Series On Computers And Operations Research*, vol. 4, World Scientific, 2004, ISBN 978-981-4481-94-6.
- [6] D. R. Jacques, "Search, Classification and Attack Decisions for Cooperative Wide Area Search Munitions", i S. Butenko, R. Murphey och P. M. Pardalos (red.), *Cooperative Control: Models, Applications and Algorithms*, vol. 1, s. 75–93, Springer US, Boston, MA, 2003, DOI: 10.1007/978-1-4757-3758-5_5.
- [7] O. Gozaydin, *Analysis of Cooperative Behavior for Autonomous Wide Area Search Munitions*, Avhandling, Air Force Institute of Technology, 2003. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA412721.pdf> (Läst 2025-05-14).
- [8] C. Schumacher, P. Chandler och S. Rasmussen, "Task Allocation for Wide Area Search Munitions", i *Proceedings of the 2002 American Control Conference (IEEE Cat. No.CH37301)*, vol. 3, s. 1917–1922, 2002.
- [9] Lockheed Martin, "Lockheed Martin Successfully Flight Tests Autonomous Attack System", 2005. <https://www.rfglobalnet.com/doc/lockheed-martin-successfully-flight-tests-aut-0001#:~:text=Orlando%2C%20FL%20--%20Lockheed%20Martin%20conducted%20a%20successful,munition%20that%20is%20equipped%20with%20a%20LADAR%20seeker.> (Läst 2025-02-19).
- [10] I.-S. Jeon, J.-I. Lee och M.-J. Tahk, "Homing Guidance Law for Cooperative Attack of Multiple Missiles", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 33, nr. 1, s. 275–280, 2010, DOI: 10.2514/1.40136.
- [11] S. He, W. Wang, D. Lin och H. Lei, "Consensus-Based Two-Stage Salvo Attack Guidance", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 54, nr. 3, s. 1555–1566, 2018, DOI: 10.1109/TAES.2017.2773272.
- [12] J. Li, X. Xu, L. Fu, Y. Yang, B. Ye, C. Yang och J. Li, "Cooperative Guidance Method for Multiple Loitering Munitions Based on Track Planning", i *2024 39th Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, s. 2344–2351, IEEE, Dalian, China, 2024, DOI: 10.1109/YAC63405.2024.10598809.
- [13] S. Zhao och R. Zhou, "Cooperative Guidance for Multimissile Salvo Attack", *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 21, nr. 6, s. 533–539, 2008, DOI: 10.1016/S1000-9361(08)60171-5.
- [14] Q. Zhao, X. Dong, Z. Liang, C. Bai, J. Chen och Z. Ren, "Distributed Cooperative Guidance for Multiple Missiles with Fixed and Switching Communication Topologies", *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 30, nr. 4, s. 1570–1581, 2017, DOI: 10.1016/j.cja.2017.06.009.

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

- [15] E. Zhao, S. Wang, T. Chao och M. Yang, "Multiple Missiles Cooperative Guidance Based on Leader-Follower Strategy", i *Proceedings of 2014 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference*, s. 1163–1167, IEEE, Yantai, China, 2014, DOI: 10.1109/CGNCC.2014.7007366.
- [16] C. Liu, C. Zhang och F. Xiong, "Multistage Cooperative Trajectory Planning for Multimissile Formation via Bi-Level Sequential Convex Programming", *IEEE Access*, vol. 8, s. 22834–22853, 2020, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2967873.
- [17] S. Liu, S. Li, Y. Liu, R. Lv och M. Ju, "Research on Anti-ship Missile Cooperative Trajectory Planning Based on Gauss Pseudospectral Method", i Z. Ren, M. Wang och Y. Hua (red.), *Proceedings of 2021 5th Chinese Conference on Swarm Intelligence and Cooperative Control*, vol. 934, s. 1163–1176, Springer Nature Singapore, Singapore, 2023, DOI: 10.1007/978-981-19-3998-3_111.
- [18] X. Lan, J. Chen, Z. Zhao och T. Zou, "Cooperative Guidance of Multiple Missiles: A Hybrid Coevolutionary Approach", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 32, nr. 1, s. 128–142, 2024, DOI: 10.1109/TCST.2023.3301141.
- [19] J. Zhang, X. Liang, Z. Shi och S. Li, "AAM Two-on-one Cooperative Interception with Controllable Impact Time Difference", i *2018 IEEE CSAA Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC)*, s. 1–6, IEEE, Xiamen, China, 2018, DOI: 10.1109/GNCC42960.2018.9019058.
- [20] M. Hagström, S.-L. Wirkander och P. Ögren, "Survey of Autonomous Algorithms for Cooperative Surveillance and Strike Problems.", FOI-R--2016--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), 2006.
- [21] L. Ma, F. He och Y. Yao, "A Coverage-Based Guidance Algorithm for the Multi-Stage Cooperative Interception Problem", i *2016 35th Chinese Control Conference (CCC)*, s. 8084–8089, IEEE, Chengdu, China, 2016, DOI: 10.1109/ChiCC.2016.7554641.
- [22] A. Vermeulen och R. Savelsberg, "Optimal Mid-Course Doctrine for Multiple Missile Deployment", i *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Minneapolis, Minnesota, 2012, DOI: 10.2514/6.2012-4912.
- [23] W. Bai, Z. Chen, J. Yu, X. Dong och H. Jiang, "Cooperative Interception against Highly Maneuvering Target with Acceleration Constraints for Multiple Heterogeneous Missiles", i *2021 40th Chinese Control Conference (CCC)*, s. 3645–3650, IEEE, Shanghai, China, 2021, DOI: 10.23919/CCC52363.2021.9549273.
- [24] F. Y. Cevher och M. K. Leblebicioğlu, "Cooperative Guidance Law for High-Speed and High-Maneuverability Air Targets", *Aerospace*, vol. 10, nr. 2, s. 155, 2023, DOI: 10.3390/aerospace10020155.
- [25] W. Chen, L. Shao och H. Lei, "On-Line Trajectory Generation of Midcourse Cooperative Guidance for Multiple Interceptors", *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 33, nr. 1, s. 197–209, 2022, DOI: 10.23919/JSEE.2022.000020.
- [26] Z. Cui, M. Wei, Y. Li och P. Zhang, "Cooperative Trajectory Optimization for Long-range Interception with Terminal Handover Constraints:", i *Proceedings of the 3rd International Symposium on Automation, Information and Computing*, s. 169–176, SCITEPRESS - Science and Technology Publications, Beijing, China, China, 2022, DOI: 10.5220/0011917200003612.
- [27] S. Le Ménec, H.-S. Shin, K. Markham, A. Tsourdos och H. Piet-Lahanier, "Cooperative Allocation and Guidance for Air Defence Application", *Control Engineering Practice*, vol. 32, s. 236–244, 2014, DOI: 10.1016/j.conengprac.2014.02.011.

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

- [28] L. Wang, Y. Yao, F. He och K. Liu, "A Novel Cooperative Mid-Course Guidance Scheme for Multiple Intercepting Missiles", *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 30, nr. 3, s. 1140–1153, 2017, DOI: 10.1016/j.cja.2017.01.015.
- [29] A. Vangua, "Netted Smart Precision Engagement Autonomous Rounds (NetSpears) for Navy and Army Weapons", 2011. https://ndia.dtic.mil/wp-content/uploads/2011/gun-missile/Wednesday11697_Vanuga.pdf#:~:text=This%20smart%20submunition%20was%20designed%20to%20be%20utilized,and%20more%20capable%20munition%20to%20increase%20warfighter%20effectiveness (Läst 2025-05-14).
- [30] T. Jin, H.-S. Shin, A. Tsourdos och S. He, "Integrated Target Assignment and Trajectory Optimization for Many-to-Many Midcourse Guidance", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 61, nr. 1, s. 853–867, 2024, DOI: 10.1109/TAES.2024.3448408.
- [31] K. Li, Y. Yu, J. Huang och L. Zhang, "Cooperative Navigation and Localization for Infrared Homing Missiles", i L. Yan, H. Duan och Y. Deng (red.), *Advances in Guidance, Navigation and Control*, vol. 845, s. 5606–5616, Springer Nature Singapore, Singapore, 2023, DOI: 10.1007/978-981-19-6613-2_541.
- [32] V. Shaferman och Y. Oshman, "Cooperative Interception in a Multi-Missile Engagement", i *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Chicago, Illinois, 2009, DOI: 10.2514/6.2009-5783.
- [33] V. Shaferman och T. Shima, "Cooperative Multiple-Model Adaptive Guidance for an Aircraft Defending Missile", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 33, nr. 6, s. 1801–1813, 2010, DOI: 10.2514/1.49515.
- [34] B. Yuksek, N. K. Ure och G. Inalhan, "Cooperative Interception of a Highly Manoeuvrable Aerial Target", i *2018 AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Kissimmee, Florida, 2018, DOI: 10.2514/6.2018-1581.
- [35] Y. Liu, N. Qi och J. Shan, "Cooperative Interception with Double-Line-of-Sight-Measuring", i *AIAA Guidance, Navigation, and Control (GNC) Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Boston, MA, 2013, DOI: 10.2514/6.2013-5112.
- [36] W. Liu, S. Wu och X. Wu, "Relative Navigation of Missile Formation and INS Error Correction Methods", i *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, s. 1545–1551, IEEE, Chongqing, China, 2017, DOI: 10.1109/CCDC.2017.7978763.
- [37] M. U. de Haag, S. Hushbeck och J. Huff, "sUAS Swarm Navigation Using Inertial, Range Radios and Partial GNSS", i *2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, s. 1–10, IEEE, San Diego, CA, USA, 2019, DOI: 10.1109/DASC43569.2019.9081793.
- [38] G. Chang, W. Fu, J. Zhao, J. Li, H. Miao, X. Zhang och P. Dong, "Overview of Research on Intelligent Swarm Munitions", *Defence Technology*, s. S2214914724002022, 2024, DOI: 10.1016/j.dt.2024.08.017.
- [39] H. Lu, W. Zheng, X. Chang och W. Dai, "Research on Cooperative Target Assignment and Guidance Method of Hypersonic Glide Vehicle", i M. Wu, Y. Niu, M. Gu och J. Cheng (red.), *Proceedings of 2021 International Conference on Autonomous Unmanned Systems (ICAUS 2021)*, vol. 861, s. 2626–2636, Springer Singapore, Singapore, 2022, DOI: 10.1007/978-981-16-9492-9_258.
- [40] Q. Zhao, J. Chen, Q. Li, Z. Ren och L. Li, "Feasible region of hypersonic and ballistic missiles' cooperative attack strategy", *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, vol. 36, nr. 7, s. 2291–2300, 2015, DOI: 10.7527/S1000-6893.2015.0048.
- [41] UK MOD, "Competition Document: "It's Good for Missiles to Talk"(Phase 2)", 2024. <https://www.gov.uk/government/publications/competition-its-good-for-miss>

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

- iles-to-talk-phase-2/competition-document-its-good-for-missiles-to-talk-phase-2 (Läst 2025-01-22).
- [42] X. Vavasseur, "Video: MBDA Orchestrike - Collaborative Combat Effectors", 2023. <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/06/video-mbda-orchestrike-collaborative-combat-effectors/> (Läst 2025-01-24).
- [43] A. Sargolzaei, A. Abbaspour och C. D. Crane, "Control of Cooperative Unmanned Aerial Vehicles: Review of Applications, Challenges, and Algorithms", 2019, DOI: 10.48550/arXiv.1908.02789. 1908.02789.
- [44] M. J. Vachon, R. J. Ray, K. R. Walsh och K. Ennix, "F/A-18 Performance Benefits Measured During the Autonomous Formation Flight Project", NASA/TM-2003-210734, NASA Dryden Flight Research Center, 2003.
- [45] E. Garcia, D. W. Casbeer, K. Pham och M. Pachter, "Cooperative Aircraft Defense from an Attacking Missile", i *53rd IEEE Conference on Decision and Control*, s. 2926–2931, IEEE, Los Angeles, CA, USA, 2014, DOI: 10.1109/CDC.2014.7039839.
- [46] E. Garcia, D. W. Casbeer och M. Pachter, "Cooperative Strategies for Optimal Aircraft Defense from an Attacking Missile", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 38, nr. 8, s. 1510–1520, 2015, DOI: 10.2514/1.G001083.
- [47] F. Fresconi och M. Fermen-Coker, "Delivery of Modular Lethality via a Parent-Child Concept", i *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Dallas, TX, 2015, DOI: 10.2514/6.2015-2708.
- [48] L. D. Fairfax, L. S. Strohman och F. Fresconi, "Distributed and Cooperative Control for Swarming Munitions", i *AIAA Scitech 2021 Forum*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, VIRTUAL EVENT, 2021, DOI: 10.2514/6.2021-0972.
- [49] J. Zhao, Y. Chen, X. Liang och Y. Hu, "Cooperative Guidance Law of Seeker-Less Missiles for a Maneuvering Target", i *2023 42nd Chinese Control Conference (CCC)*, s. 3502–3506, IEEE, Tianjin, China, 2023, DOI: 10.23919/CCC58697.2023.10240958.
- [50] Anduril Industries, "Altius", 2025. <https://www.anduril.com/hardware/altius/> (Läst 2025-02-25).
- [51] C. Hoyle, "MBDA Highlights Orchestrike AI Progress for Spear Missile Salvos", 2024. <https://www.flightglobal.com/defence/mbda-highlights-orchestrike-ai-progress-for-spear-missile-salvos/159205.article> (Läst 2025-01-24).
- [52] M. Mears, "Cooperative Electronic Attack Using Unmanned Air Vehicles", i *Proceedings of the 2005, American Control Conference, 2005.*, s. 3339–3347, IEEE, Portland, OR, USA, 2005, DOI: 10.1109/ACC.2005.1470486.
- [53] P. Alvå, F. Andersson och E. Berglund, "Fiberoptiskt styrda robotar - Systemaspekter", FOA-R-97-00614-314, Försvarets forskningsanstalt (FOA), 1997.
- [54] Y. Xu, M. Lewis, K. Sycara och P. Scerri, "Information Sharing in Large Scale Teams", i *AAMAS'04 Workshop on Challenges in Coordination of Large Scale MultiAgent Systems*, 2004.
- [55] J. Bronk, "IV. Swarming Munitions, UAVs and the Myth of Cheap Mass", *Whitehall Papers*, vol. 99, nr. 1, s. 49–60, 2021, DOI: 10.1080/02681307.2021.2005898.
- [56] D. Smalley, "LOCUST: Autonomous, Swarming UAVs Fly into the Future", 2015. <https://www.onr.navy.mil/media-center/news-releases/locust-autonomous-swarming-uavs-fly-future> (Läst 2025-05-02).
- [57] Raytheon, "Coyote UAS", 2019. <https://web.archive.org/web/20190623235827/https://www.raytheon.com/capabilities/products/coyote> (Läst 2025-05-02).

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

- [58] US DOD, "Contracts For Jan. 13, 2022". <https://www.defense.gov/News/Contracts/Contract/Article/2899640/> (Läst 2025-05-02).
- [59] US DOD, "Exhibit R-2A, RDT&E Project Justification: PB 2017 Navy", 2016. <https://www.bing.com/ck/a?!&p=2fd22cfcdd3bebb604a5267bd8594ab36ceb2405f92d29c3c0ce3e13756145d5JmltdHM9MTc0NjY2MjQwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=156bf2aa-cfec-6d78-3ef9-e749ce636c7a&psq=PE+0602271N%3a+Electromagnetic+Systems+Applied+Research&u=a1aHR0cHM6Ly9hcHBzLmR0aWMubWlsL2Rlc2NyaXB0aXZlc3VtL1kyMDE3L05hdnkv3RhblXB1ZC9VXzA2MDIyNzFOXzJfUEJfMjAxNy5wZGY&ntb=F> (Läst 2025-05-08).
- [60] B. Smith, "Disruptive Naval Technologies", 2014. <https://defenseinnovationmarketplace.dtic.mil/wp-content/uploads/2018/02/NavyDisruptiveNavalTechnologies.pdf> (Läst 2025-05-08).
- [61] J. Trevithick, "More Money For Flying Drone That Makes Missiles Think It's A Warship On Navy Wishlist", 2024. <https://www.twz.com/news-features/more-money-for-flying-drone-that-makes-missiles-think-its-a-warship-on-navy-wishlist> (Läst 2025-05-08).
- [62] A. S. Johansson, J. Markdahl, H. Nilsson, M. Norgren, D. Wiman, M. Rålander, A. Andersson, M. Gideskog, V. Deleskog och K. L. Blomqvist, "En introduktion till uppdragsautonomi", FOI-D--1392--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), 2025.
- [63] DARPA, "CODE: Collaborative Operations in Denied Environment". <https://www.darpa.mil/research/programs/collaborative-operations-in-denied-environment> (Läst 2025-05-06).
- [64] DARPA, "In the Sky and on the Ground, Collaboration Vital to DARPA's CODE for Success", 2019. <https://www.darpa.mil/news/2019/code-success> (Läst 2025-05-06).
- [65] D. Attick, "Resilient Autonomous Subsystems for Unmanned Air Systems (UAS)", 2019. http://navysbir.com/n19_3/N193-141.htm (Läst 2025-05-06).
- [66] RTX, "In Army Demo, RTX Coordinates an All-UAV Airstrike", 2024. <https://www.rtx.com/news/2024/10/14/edge24-autonomous-uavs> (Läst 2025-05-06).
- [67] "Exhibit R-2A, RDT&E Project Justification: PB 2019 Office of the Secretary Of Defense", 2018. https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fapps.dtic.mil%2Fdescriptivesum%2FY2019%2F0ther%2FOSD%2Fstamped%2FU_0603648D8Z_3_PB_2019.pdf&psig=A0vVaw2ug5ajF2QNkhH9m4YVvaGZ&ust=1746277965126000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAYQrpoMahcKEwiwkNe_7oSNAXUAAAAAHQAAAAQBA (Läst 2025-05-02).
- [68] US DOD, "Defense Department Successfully Transitions New Technology to Programs of Record", 2021. <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2539182/defense-department-successfully-transitions-new-technology-to-programs-of-record/> (Läst 2025-05-02).
- [69] Georgia Tech Research Institute, "GTRI 2015-2016 Year In Review", 2017. https://web.archive.org/web/20201112015458/https://www.gtri.gatech.edu/public/prod/2017-07/GTRI_AnnualReport_2015_2016.pdf (Läst 2025-05-02).
- [70] J. Trevithick, "USAF Wants To Network Its Precision Munitions Together Into A 'Golden Horde' Swarm", 2019. <https://www.twz.com/28706/usaf-wants-to-network-its-precision-munitions-together-into-a-golden-horde-swarm> (Läst 2025-05-02).
- [71] Anduril Industries, "Barracuda", 2025. <https://www.anduril.com/barracuda/> (Läst 2025-05-02).

Titel/Title
Samverkande robotar – OmvärldsbevakningMemo nummer/Number
FOI Memo 8955

- [72] L3Harris, "L3Harris Introduces Launched Effects Vehicles to Increase US Multi-Domain Superiority", 2025. <https://www.l3harris.com/newsroom/press-release/2025/07/13/harris-introduces-launched-effects-vehicles> (Läst 2025-07-31).
- [73] Air Force Research Laboratory Public Affairs, "AFRL Completes Golden Horde Collaborative Small Diameter Bomb Second Flight Demonstration", 2021. <https://afresearchlab.com/news/afrl-completes-golden-horde-collaborative-small-diameter-bomb-second-flight-demonstration/> (Läst 2025-02-20).
- [74] J. Toon, "Collaborative Weapons Work Together to Respond to Changing Conditions", 2021. <https://web.archive.org/web/20240721073006/https://gtri.gatech.edu/newsroom/collaborative-weapons-work-together-respond-changing-conditions> (Läst 2025-02-20).
- [75] DASA, "It's Good for Missiles to Talk: Competition Document", 2022. <https://www.gov.uk/government/publications/competition-its-good-for-missiles-to-talk/its-good-for-missiles-to-talk-competition-document#clarification-questions-and-answers> (Läst 2025-05-05).
- [76] DASA, "Hitting the Mark: DASA Builds Dynamic Partnerships to Spearhead Cooperative Missile Development", 2024. <https://www.gov.uk/government/case-studies/hitting-the-mark-dasa-builds-dynamic-partnerships-to-spearhead-cooperative-missile-development> (Läst 2025-05-05).
- [77] Elbit Systems, "Legion-X". <https://web.archive.org/web/20250122120340/https://elbitsystems.com/product/legion-x/> (Läst 2025-05-07).
- [78] Elbit Systems, "Dominion-X". <https://www.elbitsystems.com/networked-warfare/robotic-and-autonomous-solutions/autonomous-missions-management-system/dominion-x> (Läst 2025-05-07).
- [79] Elbit Systems, "Elbit Systems Unveils Dominion-X: Advanced Autonomous Management Operating System for Unmanned Platforms", 2025. <https://www.elbitsystems.com/news/elbit-systems-unveils-dominion-x-advanced-autonomous-management-operating-system-unmanned> (Läst 2025-05-07).
- [80] Elbit Systems, "Dominion-X / Autonomous Missions Operating System", 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=nJ9AahPw-ww> (Läst 2025-05-07).
- [81] Elbit Systems, "Lanius", 2022. https://web.archive.org/web/20221111122412/https://elbitsystems.com/media/LegionX_LANIUS-4-Web.pdf (Läst 2025-03-13).
- [82] G. Waldron, "General Atomics, Rafael Team up on Bullseye Strike Missile", 2025. <https://www.flightglobal.com/fixed-wing/general-atomics-rafael-team-up-on-bullseye-strike-missile/162526.article> (Läst 2025-04-08).
- [83] T. Rogoway, "The Navy's Smart New Stealth Anti-Ship Missile Can Plan Its Own Attack", 2014. <https://jalopnik.com/the-navys-smart-new-stealth-anti-ship-missile-can-plan-1666079462> (Läst 2025-05-06).
- [84] Lockheed Martin, "Lockheed Martin Conducts Historic LRASM Flight Test". <https://news.lockheedmartin.com/2024-04-3-lockheed-martin-conducts-historic-lrasm-flight-test> (Läst 2025-03-27).
- [85] MBDA, "Orchestrike: MBDA Accelerates Deployment of AI for SPEAR Cruise Missiles", 2024. <https://www.mbda-systems.com/orchestrike-mbda-accelerates-deployment-ai-spear-cruise-missiles> (Läst 2025-05-06).
- [86] MBDA, "ORCHESTRIKE: The Game-Changing Capabilities", 2023. https://www.youtube.com/watch?v=NRX5i_GcdPE (Läst 2025-01-24).

Titel/Title
Samverkande robotar – Omvärldsbevakning

Memo nummer/Number
FOI Memo 8955

- [87] Center for Army Lessons Learned, "22-643 - Counter-small Unmanned Aircraft Systems (C-sUAS) Catalog", 2021. https://www.army.mil/article/253075/22_643_counter_small_unmanned_aircraft_systems_c_suas_catalog (Läst 2025-05-05).
- [88] RTX, "RTX's Raytheon Launches New Coyote Variant from Helicopter", 2025. <https://www.rtx.com/news/news-center/2025/03/26/rtxs-raytheon-launches-new-coyote-variant-from-helicopter> (Läst 2025-05-02).
- [89] J. Trevithick, "Mysterious Weapon Fired From M2 Bradley Fighting Vehicle Identified", 2025. <https://www.twz.com/land/mysterious-weapon-fired-from-m2-bradley-fighting-vehicle-identified> (Läst 2025-05-05).
- [90] RTX, "RTX Demonstrates Launched Effects Autonomy at EDGE", 2024. <https://www.rtx.com/news/news-center/2024/10/15/rtx-demonstrates-launched-effects-autonomy-at-edge> (Läst 2025-05-02).
- [91] US DOD, "MALD-X Project Completes Free Flight Demonstration", 2018. <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/1610872/mald-x-project-completes-free-flight-demonstration/> (Läst 2025-05-02).
- [92] B. Stevenson, "FARNBOROUGH: USAF Contracts Raytheon to Develop Navy-Specific Decoy", 2016. <https://www.flightglobal.com/farnborough-usaf-contracts-raytheon-to-develop-navy-specific-decoy/121086.article> (Läst 2025-05-06).
- [93] Raytheon, "MALD Decoy". <https://www.rtx.com/raytheon/what-we-do/air/mald-decoy> (Läst 2025-05-09).
- [94] Anduril Industries, "Lattice for Mission Autonomy", 2025. <https://www.anduril.com/mission-autonomy/> (Läst 2025-03-13).
- [95] D. Parsons, "28-Drone Swarm Just Led The Way For A Simulated Air Assault Mission", 2022. <https://www.twz.com/28-drone-swarm-just-paved-way-for-simulated-army-air-assault-mission> (Läst 2025-02-25).
- [96] Collins Aerospace, "Launched Effects (LE)". <https://www.collinsaerospace.com/what-we-do/industries/military-and-defense/launched-effects> (Läst 2025-05-05).
- [97] UK MOD, "Advanced Attack Drones for Ukraine in New Deal Struck by UK Government and Anduril UK", 2025. <https://www.gov.uk/government/news/advanced-attack-drones-for-ukraine-in-new-deal-struck-by-uk-government-and-anduril-uk> (Läst 2025-05-07).
- [98] Anduril Industries, "Anduril Unveils Barracuda-M Family of Cruise Missiles", 2024. <https://www.anduril.com/article/anduril-unveils-barracuda/> (Läst 2025-05-07).
- [99] Helsing, "HX-2 – AI Strike Drone". <https://helsing.ai/hx-2> (Läst 2025-05-05).
- [100] WB Group, "SWARM System". <https://www.wbgroup.pl/en/produkt/swarm-system/> (Läst 2024-03-13).
- [101] Roketsan, "ALPAGUT". <https://www.roketsan.com.tr/en/products/alpagut-smart-loitering-munition-system> (Läst 2024-12-29).
- [102] EDGE Group, "HUNTER 2-S". <https://edgegroup.ae/solutions/hunter-2-s> (Läst 2025-03-13).
- [103] A. Kalra, "IDEX 2025: Kalashnikov Showcases KUB-2E Loitering Munition", 2025. <https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/air/idex-2025-kalashnikov-showcases-kub-2e-loitering-munition> (Läst 2025-03-13).

Titel/Title
Samverkande robotar – Omvärldsbevakning

Memo nummer/Number
FOI Memo 8955

- [104] Zala, "Zala Z-53". <https://zala-aero.com/en/product/izdelie-53/> (Läst 2025-04-01).
- [105] V. Barreira, "Brazil's BRVANT Enters Loitering Munitions Market", 2025. [https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/air/brazils-brvant-enters-loitering-munitions-market#:~:text=Brazilian%20unmanned%20aerial%20vehicles%20\(UAV\)%20manufacturer%20BRVANT%20%E2%80%93,use%20by%20dismounted%20infantry%20and%20special%20operations%20forces.](https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/air/brazils-brvant-enters-loitering-munitions-market#:~:text=Brazilian%20unmanned%20aerial%20vehicles%20(UAV)%20manufacturer%20BRVANT%20%E2%80%93,use%20by%20dismounted%20infantry%20and%20special%20operations%20forces.) (Läst 2025-05-06).
- [106] Safran, "Warbler: Tactical Precision Reinvented at Medium Range". <https://www.safran-group.com/news/warbler-tactical-precision-reinvented-medium-range-2025-06-18> (Läst 2025-07-31).
- [107] L3Harris, "AMORPHOUS", 2025. <https://www.l3harris.com/all-capabilities/amorphous> (Läst 2025-03-21).
- [108] Helsing, "Altra Recce-Strike Software Platform". <https://helsing.ai/altra> (Läst 2025-05-05).
- [109] Milanion, "Magic Swarm". <https://milaniongroup.com/our-solutions/air-systems/magic-drone-swarm/> (Läst 2025-07-31).
- [110] J. Trevithick, "China Conducts Test Of Massive Suicide Drone Swarm Launched From A Box On A Truck", 2020. <https://www.twz.com/37062/china-conducts-test-of-massive-suicide-drone-swarm-launched-from-a-box-on-a-truck> (Läst 2025-05-08).
- [111] Collins Aerospace, "Collins Aerospace Completes Air Launched Effects Demonstration for U.S. Army Future Vertical Lift Program", 2022. <https://www.collinsaerospace.com/news/news/2022/01/collins-completes-air-launched-effects-demonstration-us-army-future-vertical-lift> (Läst 2025-05-05).