

Att upptäcka och bekämpa drönare

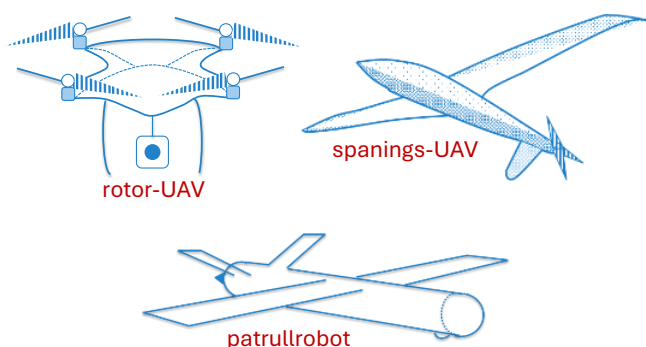
SENSORER OCH VERKAN FÖR C-UAS

Tâm Beran • David Yang • Tommy Johansson

I pågående konflikter är användning av drönarsystem – UAS (Unmanned Aerial System) – omfattande och förväntas öka ytterligare i framtiden. Förmågan att bekämpa UAS, eller C-UAS-förmågan (Counter-UAS), omfattar såväl sensorer som verkanssystem. Hur C-UAS-förmågan ska utformas beror på en mängd faktorer såsom vilken typ av UAS-hot som ska bekämpas, vad som ska skyddas och vilken typ av förband som ansvarar för bekämpningen. Kombinationen av sensorer och verkanssystem ska vara tillräckligt robust för att hantera olika fysiska förutsättningar som terräng och väder, men även motståndarens motmedel och en snabb teknikutveckling. Det finns många olika sensor- och verkanssystem med C-UAS-förmåga men det finns inget enskilt system som kan hantera samtliga UAS-hot. Flera system behöver kombineras beroende på uppgift och situation. Stridsekonomi är också viktig: att använda dyra och komplicerade verkanssystem mot enkla och billiga mål är inte långsiktigt hållbart. I denna översikt ges beskrivningar av vissa tekniska förutsättningar för upptäckt av och verkan mot drönare i en reaktiv kontext.

DRÖNARE – ETT VÄXANDE HOT

Drönare eller UAV:er¹ kan användas i många olika sammanhang, till exempel för spaning och underrättelseinhämtning, telekrigföring, anfall mot trupp, fordon och fartyg, eller civil infrastruktur. Det potentiella UAS-hotet består av en mängd plattformar, allt från små, långsamma rotor-UAV:er som bär mindre än ett kg nyttolast och flyger på en låg höjd, till större spanings-UAV:er med stor uthållighet och som flyger på hög höjd. En FPV-drönare², där operatören styr med hjälp av en bild från en kamera ombord på drönaren, är en aktuell och uppmärksamman variant. Patrullrobotar som bär på en verkansdel och kan spana efter mål inom ett område under en viss tid är också ett hot som måste beaktas.



Figur 1. Några typer av UAS-hot.

ATT UPPTÄCKA DRÖNARE

För att kunna bekämpa en UAV behöver den först upptäckas av en sensor. Det mänskliga ögat och det mänskliga örat är två exempel på sensorer. Örat registrerar ljudvågor från UAV:n och kan sägas vara en *akustisk sensor*. Andra typer av akustiska sensorer är mikrofoner som har större omfång både vad gäller ljudstyrka och frekvens. Ögat registrerar elektromagnetisk strålning – i form av synligt ljus – som reflekteras från eller utsänds av UAV:n, och är en typ av en *elektrooptisk sensor*. Elektrooptiska sensorer omfattar även olika typer av kameror, där vissa, förutom synligt ljus, också kan detektera infraröd (IR) och ultraviolett (UV) strålning.

Det finns även sensorer som kan detektera ytterligare våglängdsområden. Sensorer för *signalspaning* spanar efter radiovågor som används av UAV:er i kommunikation med varandra eller med en kontrollstation. Akustiska, elektrooptiska sensorer och sensorer för signalspaning är *passiva* sensorer, det vill säga de skickar inte ut någon ljudvåg eller elektromagnetisk strålning utan registrerar sådana signaler från objektet. *Radar*³ och *lidar*⁴ är exempel på *aktiva* sensorer som sänder ut signaler och mottar reflektioner från objektet. Radar använder sig av radiovågor medan lidar arbetar i samma våglängdsområde som elektrooptiska sensorer.

En aktiv sensor har större möjlighet än en passiv sensor att bestämma en UAV:s position och följa dess rörelse, men de utsända signalerna kan potentiellt användas av en motståndare för att lokalisera sensorn. En passiv sensor ger

¹ UAV (Unmanned Aerial Vehicle) syftar på obemannade flygande farkoster, begreppet UAS innefattar systemet i sin helhet inklusive kontrollstation. UAV:n är en delkomponent i systemet.

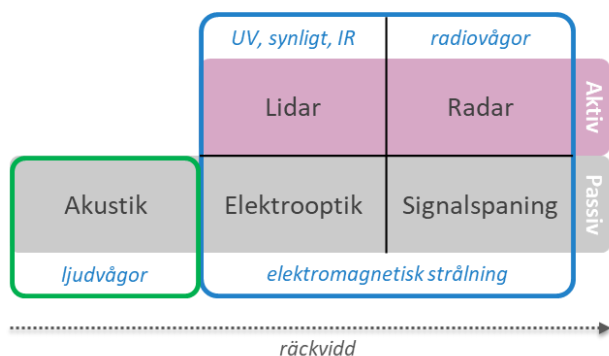
² FPV (First Person View). En aktuell analys ges i "Användning, effektivitet och trender för FPV-drönare i den ryska invasionen av Ukraina baserat på publicerat video- och bildmaterial", FOI Memo 8897, 2025.

³ Radar (Radio detection and ranging) används både civilt och militärt för lufrumsövervakning.

⁴ Lidar (Light detection and ranging) används till exempel inom fordonsindustrin för självkörande bilar.

generellt sämre noggrannhet i bestämningen av UAV:ns position men röjer inte sin position för motståndaren.

Vilken sensor som är lämplig mot ett visst hot beror på vilken typ av UAV som ska upptäckas. Viktiga faktorer är vilken form och storlek UAV:n har, om den är tyst akustiskt, i vilket material den är byggd, hur den flyger och på vilket avstånd den befinner sig, samt om och hur den kommunicerar.



Figur 2. Aktiva och passiva sensorer.

Förutom hotets egenskaper finns andra faktorer som påverkar sensorers prestanda. En viktig faktor är i vilken terräng som UAS-hoten ska upptäckas. Sensorer som radar, lidar och elektrooptiska sensorer kräver *fri sikt* till objektet, det vill säga om hinder som kullar och byggnader finns mellan sensorn och UAV:n så sker ingen upptäckt. Även vegetation, som träd och buskar, kan försämra möjligheten att upptäcka UAV:n. Förutom terrängen och vegetation begränsar även jordens krökning sensorernas räckvidd.

För att en UAV ska kunna upptäckas krävs också att den kan särskiljas från bakgrunden. I fallet med ljudvågor kan vind eller trafikbuller utgöra brus, vilket gör att sensorn inte kan urskilja UAV:n från bakgrunden. För elektromagnetiska vågor kan det istället handla om nederbörd och ljusförhållanden som kan dämpa vågutbredningen. Radar och sensorer för signalspaning är relativt okänsliga för väderförhållanden, medan lidar och elektrooptiska sensorer är mer utsatta för påverkan av nederbörd och ljusförhållanden. Sensorernas räckvidd påverkas således av väder och terräng, och varierar från några hundra meter till många kilometer.

Förutom att upptäcka drönare måste sensorerna i många fall kunna förse ett verkanssystem med information om hotets position. En del sensorer, som sensorer för signalspaning, kan spana över ett stort område men kan inte mäta in en UAV:s position med hög noggrannhet. Andra system, som lidar, spanar över ett mindre område men ger en mer exakt position. Beroende på enskilda systems utformning kan radar ha förmåga att övervaka stora områden och mäta position med god noggrannhet. För att lösa båda uppgifterna samtidigt krävs avancerade system.

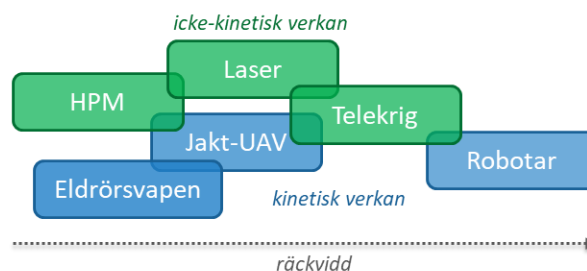
ATT BEKÄMPA DRÖNARE

För att kunna bekämpa ett UAS-hot behövs verkanssystem som kan slå ut hotets komponenter eller funktioner på sådant sätt att dess förmåga försämras och det inte längre kan genomföra sitt uppdrag, exempelvis så att UAV:n inte längre kan flyga, navigera eller kommunicera. Detta kan ske *kinetiskt* och *icke-kinetiskt*.

Med kinetisk bekämpning menas att UAV:n träffas fysiskt av något, exempelvis något slags ammunition, som påverkar eller destruerar UAV:n genom att slå hål i skrovet, motorn, vingarna eller propellern. Exempel på verkanssystem som använder ammunition är olika typer av *eldrörsvapen* som med hjälp av en krutladdning accelererar ammunition genom ett eldrör. Detta inkluderar kulspruta eller granatkastare, luftvärnsautomatkanoner, men även lätta system som hagelgevär.

Kinetisk bekämpning kan också ske med *robotar*, till exempel luftvärnsrobotar som avfyras från marken eller jaktrobotar som avfyras från flygplan. En robot drivs fram av en eller flera motorer, vanligtvis någon typ av raketmotor. Ett ytterligare exempel på kinetisk bekämpning är *jakt-UAV:er* som bekämpar hotet genom direkt kollision eller med olika typer av ammunition, men de kan också fänga hotet med nät. Räckvidden för kinetiska verkanssystem varierar mellan några hundra meter till flera hundra kilometer.

Laser, *HPM*⁵ och *telekrig* är exempel på icke-kinetisk bekämpning där UAV:er bestråls med elektromagnetisk strålning. Laser belyser UAV:n och bränner sönder delar av skrovet, antänder elektronik eller bländar sensorer. HPM använder korta pulser av mikrovågsstrålning med mycket höga effekter för att temporärt eller permanent förstöra elektroniska komponenter i målet. Telekrig innebär att exempelvis störa ut radiokommunikationen mellan UAV:n och operatören, att tvinga UAV:n att landa eller att ta över kontrollen av farkosten. Genom störning av satellitnavigeringssystem kan UAV:ns navigering försvåras. Räckvidden för icke-kinetiska verkanssystem varierar från några hundra meter till flera kilometer.



Figur 3. Exempel på kinetiska och icke-kinetiska verkanssystem.

Alla kinetiska verkanssystem, och även laser, kräver förhållandevis hög precision och kan generellt verka inom ett snävt område. HPM och telekrig kan verka över ett större område och har således lägre krav på precision jämfört med

⁵ High-Power Microwave.

laser och kinetiska verkanssystem. För att kunna stötta verkanssystem med hög precision behövs också sensorer som kan följa hotet med tillräckligt hög noggrannhet.

UAV:er som uppträder samtidigt i stort antal är svåra att hantera för alla kinetiska verkanssystem, som ofta har en låg bekämpningstakt och begränsade ammunitionsmängder. Icke-kinetiska verkanssystem har däremot en nästintill ”obegränsad” ammunitionsmängd så länge systemen har tillräcklig energiförsörjning.

Precis som i fallet med sensorer så beror ett verkanssystems förmåga att bekämpa ett UAS-hot på en mängd faktorer såsom UAV:ns form, storlek och material, hur den flyger och på vilket avstånd den befinner sig, samt om och hur den kommunicerar.

HUR SKA C-UAS-FÖRMÅGAN UTFORMAS?

Hur sensor- och verkanssystem ska kombineras beror inte enbart på systemens tekniska prestanda, utan även på flera andra faktorer. Dessa inkluderar vad som ska skyddas (enskilt stridsfordon, förband eller en större anläggning) och om risk finns för att skada egna soldater eller civila, samt organisation och ekonomi. Därmed måste C-UAS-förmågan utformas efter specifika krav. Nedan följer en generell diskussion kring C-UAS, med fokus på den tekniska aspekten.

Robusthet

Sensor- och verkanssystemen behöver kombineras så att de kan hantera de miljöer där systemen ska verka, till exempel i olika terräng- och väderförhållanden. C-UAS-förmågan behöver också förhålla sig till den teknikutvecklingen som kan ge UAV:erna nya förmågor, exempelvis autonomi och svärbeteende. En ytterligare faktor som behöver hanteras är motmedel som används för att motverka eller degradera effektiviteten hos C-UAS, till exempel skenmål och telekrig.

Autonomi och svärmar

Uppdragsautonomi – automatiserat genomförande av militära uppdrag – är förmågehöjande och avlastande för drönaroperatören. Minskat behov av kommunikation genom uppdragsautonomi, eller avsaknad av radiokommunikation som i fallet med fiberstyrda UAV:er, minskar effekten av signalspaning och telekrig.

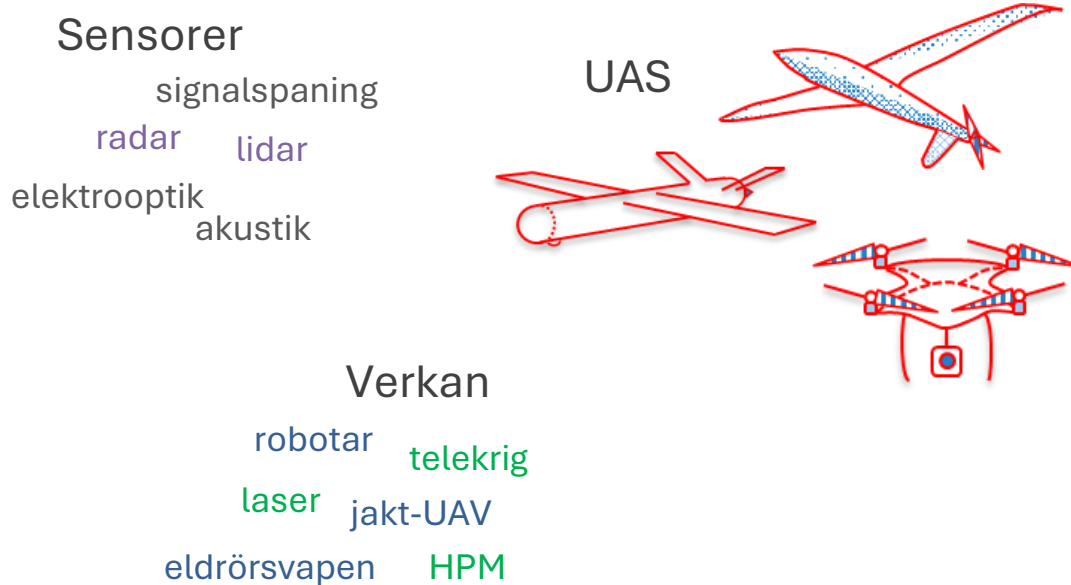
De UAS-hot som är förhållandevis billiga kan anses vara mängdsystem. Med avseende på stridsekonomi är det inte långsiktigt hållbart att använda dyra och komplicerade motmedel mot enkla och billiga mål. Kinetiska verkanssystem som eldrörsvapen med stor träffsannolikhet kan vara ett lämpligt alternativ, men även utvecklingen av icke-kinetiska verkanssystem som laser och HPM är extra intressant.

Samma system till allt?

En generell slutsats är att det inte finns något enskilt system som kan hantera hela bredden av hot eller situationer där hoten förekommer. En heltäckande teknisk C-UAS-förmåga behöver därför kombinera flera typer av sensor- och verkanssystem som på ett kostnadseffektivt sätt kan upptäcka och bekämpa UAS-hot.

En observation är att det sker en snabb teknikutveckling inom området, vilket ställer höga krav på att de system som anskaffas för C-UAS är flexibla och kan anpassas efter förändrade hot. En kapplöpning mellan UAS-hot och C-UAS tvingar fram en utveckling som kan leda till bättre teknisk prestanda och förmåga för systemen, men även nya sätt att använda dem på. Däremot kommer olika tekniska aspekter alltid att begränsas av fysikaliska fenomen och därmed finns en gräns för hur långt teknologierna kommer att utvecklas.

Illustrationer: Tām Beran (FOI)



Kontaktinformation

Tâm Beran, tam.beran@foi.se, Försvarsteknik

Mattias Tjernberg, mattias.tjernberg@foi.se, Försvarsanalys, projektledare Stöd till förmågeinriktning 2025–2027