

# Artificiell intelligens för beslutsstöd i ledningssystem

JOEL BRYNIELSSON, MATTIAS NILSSON,  
JOHAN SCHUBERT, PETER SVENMARCK



Joel Brynielsson, Mattias Nilsson, Johan Schubert, Peter Svenmarck

# Artificiell intelligens för beslutsstöd i ledningssystem

Omslag: Martin Ek

Titel	Artificiell intelligens för beslutsstöd i ledningssystem
Title	Artificial intelligence for decision support in command and control systems
Rapportnummer	FOI-R--4678--SE
Månad	December
Utgivningsår	2018
Antal sidor	27
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare	Försvarets materielverk
Forskningsområde	Ledningsteknologi
Projektnummer	E64088
Godkänd av	Cecilia Dahlgren
Ansvarig avdelning	Försvars- och säkerhetssystem
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

## Sammanfattning

Artificiell intelligens (AI) handlar om intelligent beteende som uppvisas av maskiner. I vardagliga sammanhang används termen AI för situationer då maskiner imiterar kognitiva funktioner som kan associeras med inläring och problemlösning. Viktiga frågor inom AI inkluderar datorers förmåga till resonerande, planering och lärande. I militära tillämpningar blir AI en allt viktigare komponent i många olika tekniska system som används på olika militära abstraktionsnivåer – alltifrån stridsteknisk nivå till de taktiska och operativa nivåerna. Utvecklingen ger bl.a. möjlighet till framtagande av intelligenta beslutsstödssystem som kan användas på bataljons- och brigadnivå.

Baserat på empiriska data som samlats in genom strukturerade användarcentrerade verksamheter som involverar militär personal undersöks i denna studie hur AI skulle kunna användas inom ramen för olika typer av ledningssystem. Både underrättelsearbete och stöd för operativa åtgärder studeras. Specifikt behandlas hur AI-metodik kan användas som beslutsstöd för att etablera gemensam lägesbild, för att kunna förutsäga fiendens intention och för att kunna analysera egna styrkors olika handlingsalternativ.

Studien visar att AI-metodik med fördel skulle kunna implementeras i olika typer av tekniska stödssystem för användning av väpnade styrkor för att tillhandahålla stöd dels då tiden är begränsad, dels då antalet valmöjligheter är alltför många för att människor ska kunna analysera alla alternativ. Det är troligt att den aktör som framgångsrikt lyckas implementera AI i sitt ledningssystem kommer ha förutsättningar att bli den bästa och snabbaste på att analysera den tillgängliga informationen, och som konsekvens också kommer kunna fatta snabbare beslut och därmed erhålla en operativ fördel gentemot sina motståndare.

Nyckelord: artificiell intelligens, ledning, OODA-loop, analys, planering, genomförande.

## **Abstract**

Artificial intelligence (AI) is the intelligent behavior displayed by machines. In everyday terms, the term AI is used when machines mimic the cognitive functions that people associate with learning and problem solving. The key issues within AI include reasoning, planning, and learning. In military applications, AI becomes increasingly important in systems used at different military levels, from the combat level to tactical and operational levels. This development provides the possibility to construct intelligent decision support systems to be used at the battalion and brigade levels.

Based on empirical data gathered through structured user-centered activities involving military personnel, this study investigates how AI may be used in command and control systems. Its use for both intelligence and operations processes is studied. In particular, the study focuses on how AI methods can be used for decision support for processes that provide a common operational picture, that use threat analysis to predict enemy actions, and that analyze own forces' alternative actions.

It is concluded that the benefit of AI for the armed forces is that it can deliver critical system support when the time is limited or when the number of choices is too large for people to be able to analyze all alternatives. It is likely that the side that successfully implements AI in its command and control system can become the best and fastest at analyzing the available information, and as a result can make quicker decisions and gain an operational advantage over its opponent.

Keywords: artificial intelligence, command and control, OODA-loop, analysis, planning, execution.

# Innehåll

<b>1 Inledning</b>	<b>7</b>
1.1 Läsanvisning . . . . .	9
<b>2 Metod</b>	<b>10</b>
<b>3 Resultat</b>	<b>12</b>
<b>4 Möjligheter</b>	<b>14</b>
4.1 Analys . . . . .	14
4.2 Planering . . . . .	16
4.3 Genomförande . . . . .	17
<b>5 Utmaningar</b>	<b>20</b>
5.1 Genomförbarhet . . . . .	20
5.2 Transparens och tillit . . . . .	21
<b>6 Slutsatser</b>	<b>23</b>
6.1 Förslag till framtida arbete . . . . .	23
<b>Referenser</b>	<b>24</b>



# 1 Inledning

Oxford Dictionaries<sup>1</sup> definierar artificiell intelligens (AI) enligt följande:

The theory and development of computer systems able to perform tasks normally requiring human intelligence, such as visual perception, speech recognition, decision-making, and translation between languages.

I skrivande stund är det svårt att tänka på ett mer välanvänt modeord än just AI. Det hänger sannolikt ihop med de många framsteg som har kommit att prägla området den senaste tiden där AI-metodik har visat sig kunna överträffa människor inom vitt skilda områden så som att spela brädspelen Go [34], upptäcka hudcancer [15] och taligenkänning [41]. Det finns många välgrundade skäl för AI:s popularitet och användning.

Den gemensamma nämnaren bakom de senaste årens många AI-framsteg kommer från fältet djupinlärning (DL). Djupinlärning avser maskininlärningsmodeller bestående av flera lager av icke-linjära beräkningsenheter. Vanligtvis utgörs dessa modeller av så kallade artificiella neuronnät. I detta sammanhang utgörs beräkningsenheterna av artificiella neuroner vars utdata är en viktad summa av neuronens indata som passerat en icke-linjär aktiveringsfunktion (t.ex. en funktion som endast överför signalen om den är positiv).

Djupinlärningssystem baserade på artificiella neuronnät kallas djupa neuronnät (DNN). Dessa består av ett stort antal seriellt ihopkopplade lager av parallellkopplade neuroner. Tillgång till stora mängder data tillsammans med kraftfulla beräkningsdatorer kombinerat med en rad sentida tekniska landvinningar (initieringsstrategier, data-normalisering m.m.) har lett fram till att dessa högkapacitetsnätverk framgångsrikt har kunnat tränas upp och klarat många av de AI-utmaningar som lösts den senaste tiden. En av de främsta orsakerna till de djupa neuronnätens höga prestanda handlar om representationsinlärning: genom att använda DL och DNN är det inte längre nödvändigt att manuellt skapa de utmärkande särdrag som krävs för att maskininlärningsmodellen ska kunna lära sig en viss uppgift. Särdragen utvinns i stället automatiskt i samband med träningen av DNN:et.

Det bör i sammanhanget understrykas att DNN inte bör ses som ett mirakelmedel som löser precis alla AI-problem, och det finns många andra AI-koncept och maskininlärningsmodeller som kan passa bättre beroende på det specifika scenariot och uppgiften som ska lösas.

Enligt McCann och Pigeau [23] kan ledning definieras som "the establishment of common intent to achieve co-ordinated action", och i militära sammanhang handlar de centrala utmaningarna inom ledning om följande [8]:

<sup>1</sup> <https://www.oxforddictionaries.com/> [2018-11-23].



- Hur kan man erhålla en gemensam effekt från en stor mängd resurser?
- Hur kan man hantera inneboende osäkerheter?
- Hur kan man åstadkomma effekt i snabbare takt än fienden?

Att kunna åstadkomma effekt i snabbare takt än fienden tvingar fienden att reagera snarare än att agera. Förutsättningarna för att kunna uppnå detta handlar om att snabbt kunna bearbeta stora mängder information och att kunna mäta osäkerheter effektivt.

För att kunna hantera dessa utmaningar på ett strukturerat sätt sker ledning alltid inom ramen för ett ledningssystem [8]. Ledningssystemet består av människor, organisationer, processer, metoder och materiel. Utkomsten från ett ledningssystem (produkterna som skapas) är en eller flera order, och för att kunna generera sådana behöver systemet designas för att underlätta (i) datainsamling, (ii) resonering/sensemaking (d.v.s. analysera information och identifiera *vad* som behöver göras), och (iii) planering (d.v.s. utgående från vad som behöver göras också identifiera *hur* det kan göras).

Fördelen med att införliva AI-teknik i ledningssystem handlar i militära sammanhang bl.a. om att tillhandahålla kritiskt systemstöd i situationer då tiden är begränsad och/eller då antalet valmöjligheter är alltför många för att människor ska kunna analysera alla alternativ. Den strategiska fördelen av att ha tillgång till ett sådant kritiskt systemstöd på de taktiska och operativa nivåerna kan knappast överdrivas. Ayoub och Payne [4] skriver exempelvis att:

a domain specific AI could radically shift military power towards the side that develops it to maturity. Domain-specific AI will be transformative of conflict, and like previous transformations in military capability it has the potential to be profoundly disruptive of the strategic balance. [...] [T]actical and operational systems hold most promise, and [...] these will have a strategic impact.

Med utgångspunkt i en nyligen publicerad artikel [31] diskuteras i denna rapport användningen av AI-metoder i beslutsstödssystem inom ledningsområdet. Baserat på empiriska data från en användarcentrerad workshop som genomförts tillsammans med personal från Ledningsstridsskolan<sup>2</sup> vid Forsvarsmakten identifieras områden och uppgifter där AI potentiellt skulle kunna ha störst effekt inom de befintliga ledningssystemen med hänsyn till de tre centrala ledningsutmaningarna som listats ovan. Vidare diskuteras olika aspekter av AI-metoder och deras motsvarande lämplighet för specifika uppgifter. I synnerhet diskuteras vikten av att kunna förklara bakgrunden till de förslag och handlingsalternativ som produceras av AI-baserade beslutsstödssystem.

<sup>2</sup> <https://www.forsvarsmakten.se/sv/organisation/ledningssystem/ledss/> [2018-11-23].

## 1.1 Läsanvisning

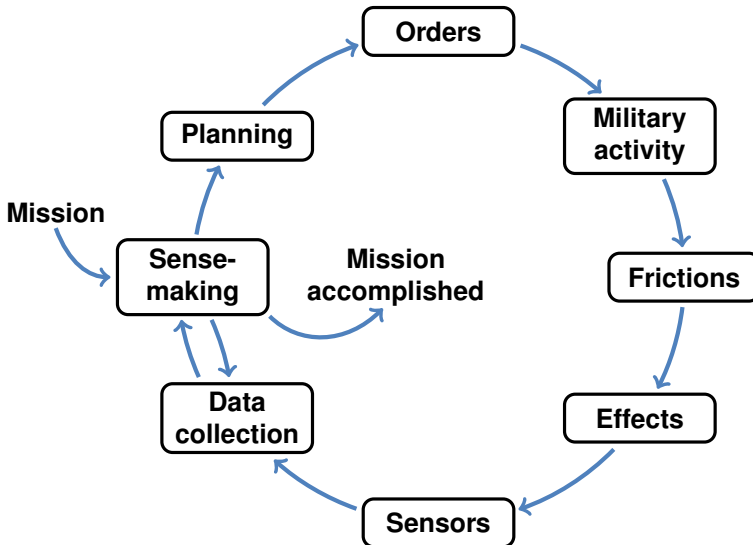
I kapitel 2 introduceras den dynamiska OODA-loopen som underliggande teoretisk modell för ett ledningssystem, varefter den användarcentrerade metodiken som använts i studien i syfte att identifiera ledningssystemsutmaningar där AI skulle kunna nyttjas beskrivs. Resultaten från de användarcentrerade aktiviteterna sammanfattas därefter i kapitel 3. Möjligheter respektive utmaningar med AI-metoder för några av de uppgifter som identifierats i samband med workshoppen presenteras sedan i kapitlen 4 och 5, och slutligen innehåller kapitel 6 rapportens slutsatser och rekommendationer.

## 2 Metod

Ledningsprocessen är en i högsta grad dynamisk process. Inspirerat från Boyd [7] kan denna process enligt Brehmer [8] på en abstrakt nivå modelleras som en så kallad DOODA-loop (från de engelskspråkiga begreppen "dynamic", "observe", "orient", "decide" och "act") i enlighet med figur 1. I detta sammanhang handlar order om olika typer av militära aktiviteter, vilka i sin tur efter att ha påverkats av "friktion" och osäkerhet orsakar viss effekt. Effekterna observeras av sensorer, där sensorer kan vara allt från elektroniska sensorer till mänskliga observatörer, varpå sensordata samlas in och vägs ihop med interna systemparametrar avseende t.ex. uppdraget och graden av måluppfyllnad. I processteget benämnt sensemaking [40] urskiljs sedan de händelser och det händelseförlopp som krävs för uppdragets fullföljande, och de relevanta uppgifterna, resurserna och begränsningarna identifieras. Slutligen sker i planeringssteget framtagande av nya underlag för den tidigare nämnda orderprocessen i form av framtagande av planer, resursallokering, riskbedömning, utvärdering och urval av planer m.m. Loopen fortsätter till dess uppdraget är slutfört, förlorat eller återkallat. Alla etapper i DOODA-loopen är behäftade med olika typer av osäkerheter som måste tas i beaktande av ledningssystemet.

Komplexiteten hos och mångfalden av de uppgifter som måste hanteras av ett beslutsstöd i ett ledningssystem är stora. Det är därför osannolikt att det inom en nära framtid kommer att finnas AI-system som bara matar ut en uppsättning förslag till order givet tillgängliga sensordata och systemparametrar. En mer trolig framtida utveckling handlar i stället om ett gradvis införande av olika AI-komponenter i beslutsstödsystemen. För att kunna identifiera var i Försvarmaktens befintliga ledningssystem som det finns flaskhalsar som kan kopplas till DOODA-loopen och där AI-komponenter skulle kunna göra skillnad, har en användarcentrerad undersökningsmetod använts [2]. Ett sådant tillvägagångssätt gör det möjligt att på ett strukturerat sätt undersöka och behandla dataunderlag från slutanvändare och lekmän, vilka i vanliga fall inte brukar medverka i nämnvärd utsträckning när det gäller den framtida utvecklingen av ny teknik [35]. Den användarcentrerade metoden kännetecknas av en genomarbetad process där lämpliga designmetoder och -aktiviteter används på ett strukturerat sätt. Den aktuella frågeställningen, vilken expertkunskap som behövs samt tillgången till slutanvändare, konstruktörer och beslutsfattare ligger till grund för vilka designaktiviteter som är de mest lämpliga. Tanken är att designers och konstruktörer är möjliggörare som deltar i sin egenskap som experter, medan slutanvändare tillsammans med andra intressenter deltar som experter inom sina respektive domäner. Detta arbetssätt tydliggör roller och kompetenser så att beslut som rör framtida designval och upphandling kan baseras på relevant och korrekt information.

Inspirerat av den användarcentrerade filosofin genomfördes en strukturerad brain-



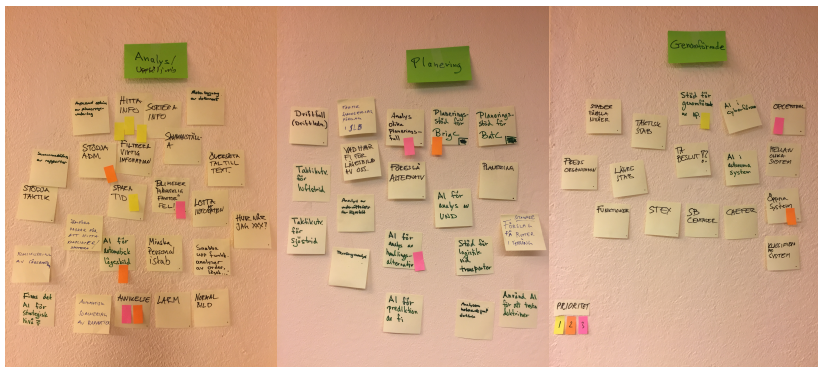
Figur 1: DOODA-loopen [8].

storming i syfte att erhålla djupare kunskaper om användarnas behov och för att kunna föreställa sig den framtida ledningssystemsutvecklingen. Deltagarna bestod av officerare, systemkonstruktörer och forskare. I brainstormingen ingick såväl individuella som gemensamma aktiviteter, samt prioritering av de identifierade behoven.

Frågeställningen som skulle besvaras i samband med brainstormingen handlade om att ta reda på för vilka *syften*, av *vem* och *var* AI-system skulle kunna komma till användning i en ledningssystemskontext. För att säkerställa att framtida tekniska möjligheter till fullo togs i beaktande ombads deltagarna uttryckligen att bortse från eventuella problem relaterade till finansiella, etiska, juridiska och tekniska utmaningar. Deltagarna uppmanades först att skriva ner sina idéer individuellt, varpå idéerna presenterades för de övriga deltagarna. Deltagarna hjälptes därefter åt med att gruppera idéerna i ett antal övergripande kategorier/temaområden, och ge de identifierade kategorierna representativa namn. För att slutligen prioritera mellan de genererade idéerna ombads varje deltagare att prioritera de tre viktigaste idéerna på en skala från ett till tre.

### 3 Resultat

Tre olika kategorier identifierades i samband med brainstormingen (se figur 2): analys (och uppföljning), planering och genomförande. Dessa tre kategorier kan knytas till processerna ”sensemaking”, ”planning” och ”military activity” i DOODA-loopen som beskrivits i kapitel 2 (se figur 1). Med tanke på deltagarnas bakgrund och erfarenhet är detta inte förvånande. Beträffande relevans bedömdes analyskategorin ha högsta prioritet, följt av planering och till sist genomförande.



Figur 2: Den strukturerade brainstormingen som genomfördes tillsammans med personal från Ledningsstridsskolan syftade till att ta reda på för vilka syften, av vem och var AI-system kan tänkas komma till användning i en ledningssystemskontext. Kategorierna analys, planering och genomförande identifierades i samband med arbetet.

Inom analyskategorin kunde tre olika underkategorier identifieras: hitta information, sammanställa information och avvikelседetektering. Exempel på idéer relaterade till att hitta information var anpassade sökningar (för individer eller för roller) och automatisk metataggnig av information (avseende till exempel ämne eller säkerhetsklassificering). En idé som kan relateras till att sammanställa information var att automatiskt erhålla lägesbildsuppdateringar. Slutligen listades idéer avseende att kunna jämföra inom och mellan rapporter och order för att kunna identifiera inkonsekvenser, som exempel som kan kopplas till avvikelседetektering.

Idéerna inom planeringskategorin kan delas upp i två underkategorier: planeringsstöd och taktikutveckling. När det gäller planeringsstöd föreslogs idéer kopplade till terränganalys (t.ex. i syfte att finna och föreslå rutter med låg risk för upptäckt), logistikplanering (”förflyttning från A till B kräver x, y och z”), förutsägelse av fiendens lägesuppfattning och framtida beteende (utgående från doktrin och observatio-

ner) samt hjälp med att automatgenerera förslag till handlingsalternativ. För taktikutveckling föreslogs användningen av förstärkt inlärning<sup>3</sup> för luft- och sjöstrid, vilket skulle kunna leda till nya militära doktriner.

Idéer i genomförandekategorin fokuserade på utvärdering av handlingsalternativ och effektivisering av stabsarbetet i militära staber i samband med operativt arbete. AI för att automatiskt kunna generera (anpassade) rapportsammanfattningar och automatiskt transkribera tal till text var två konkreta idéer som föreslogs.

---

<sup>3</sup> Förstärkt inlärning är en maskininlärningsteknik som går ut på att lära sig hur systemtillstånd ska paras ihop med handlingsalternativ i syfte att maximera den framtida belöningen. I kombination med djupa neuronnet utgör denna teknik grunden för datorprogrammet AlphaGo från Google DeepMind [34].

## 4 Möjligheter

I dag är det inom den civila sektorn som de stora framstegen görs inom AI. De utvecklade teknikerna och koncepten är dock förhållandevis generella, och kan med liten eller ingen anpassning användas i militära system. I det här avsnittet diskuteras möjligheterna som AI-utvecklingen för med sig i relation till några av de resultat som uppkommit under workshopen som bedrivits tillsammans med Ledningsstridsskolan vid Försvarsmakten enligt föregående kapitel.

Analysen är i första hand inriktad på beslutsstöd för analys av situationer med tillhörande stöd för att kunna föreslå och utvärdera egna styrkors handlingsalternativ. Flera deluppgifter kan skönjas: analys av den aktuella situationen, beslutsstöd för generering av planer, utvärdering av redan framtagna planer under deras genomförande som grund för dynamisk omplanering, och möjligheten att utvidga och förfina planer i samband med att händelseutvecklingen fortskrider.

Den viktigaste komponenten som behövs för att kunna erhålla bra beslutsstöd handlar om att konstruera en adekvat kunskapsrepresentation för den aktuella frågan. Kunskapsrepresentationen utgör det ramverk inom vilket AI-metoderna kommer att fungera. Att konstruera kunskapsrepresentationen är främst ett intellektuellt problem. Givet att detta har gjorts på ett bra sätt handlar resten av beslutsstödsproblemet sedan om att utföra matematiska beräkningar inom ramen för kunskapsrepresentationen och att åskådliggöra resultatet för beslutsfattaren på ett bra sätt. Under antagandet att den operation som ska planeras, utvärderas, genomföras och dynamiskt omplaneras fullständigt kan beskrivas med hjälp av olika parametrar, handlar beslutsstödsproblemet om att finna den eller de planer som givet parametrarna resulterar i bästa möjliga utfall för de mätpunkter som är av intresse för operationens genomförande.

### 4.1 Analys

I analysfasen bearbetas och kombineras olika typer av information till grund för att kunna ta fram en gemensam lägesbild. Detta innefattar klassificering av inkommande information, identifiering av den nuvarande situationen, framtagande av en dynamiskt uppdaterad lägesbild, och monitorering av det egna systemet i syfte att kunna upptäcka och undvika fiendlig vilseledning. Med hjälp av informationsfusionstekniker kan en taktisk lägesbild genereras automatiskt utgående från en inkommande ström av underrättelserapporter [3]. Analysfasen är sålunda viktig i sig självt, men den fyller också ytterligare syften genom att dess resultat utgör ingångsvärden för beslutsstöd i de efterföljande planerings- och genomförandefaserna.

Metodiken för att kunna förstå vad en identifierad situation betyder är viktig [38]:

The current emphasis on understanding has resulted from UK military

commanders' recognition of a military tendency to rush into precise solutions to the wrong problem, without full consideration for context. This has also been recognised by US commanders [...]

Dessa befälhavare ser således ett behov av att utveckla metoder för att kunna definiera ett problems ramar innan de först därefter utför dataanalys, informationsfusion etc. i syfte att konstruera en abstrakt lägesbild och påbörja lösandet av det aktuella problemet. Detta är arbete som traditionellt har utförts vid underrättelseenheter [12], men som i framtiden bör integreras i många fler stabsfunktioner.

Workshoppen betonade tre olika analyskategorier som alla är relaterade till informationsbehandling: hitta information, sammanställa information och avvikelsetektering.

Problemet med att hitta information finns på många olika abstraktionsnivåer. Ett vanligt fall skulle till exempel kunna vara att hämta och presentera en uppsättning liknande dokument såtillvida att dokumenten behandlar ett och samma ämne. Om alla dokument i dokumentmängden är metataggade med det ämne de berör, så skulle den processen kunna utföras snabbt. Metataggingen skulle potentiellt kunna utföras automatiskt med hjälp av delvis övervakad maskininlärning. Det finns maskininlärningsmetoder som syftar till att automatiskt hitta tematiska mönster i textmängder vilket kan användas för att t.ex. gruppera dokument med avseende på geografisk plats [16]. Salakhutdinov och Hinton [30] använder djupinlärning i form av en djup så kallad autoencoder<sup>4</sup> för att kunna omvandla mycket högdimensionella dokumentvektorer (d.v.s. vektorer innehållande normaliserade ordförekomster) till ett lågdimensionellt vektorrum där närliggande vektorer i vektorrummet representerar dokument som liknar varandra. Att lära sig autoencodern kan i sig självt utföras på ett oövervakat sätt. En automatisk metataggningsalgoritm kan sedan konstrueras med hjälp av några få uppmärksatta datapunkter som används för att definiera specifika kluster i det lågdimensionella vektorrummet.

För att kunna hitta information på en annan abstraktionsnivå kan entiteter som är relevanta för ett visst ämne identifieras i ett dokument. Att exempelvis snabbt kunna identifiera logistikbehov relaterat till artiklar och mängder ger förutsättningar att kunna påskynda planeringsprocessen inför kommande truppflyttningar. Inom datorlingvistiken benämns detta fält ”named entity recognition”, och här har neuronnet i kombination med entitetslexikon uppvisat goda resultat [14].

När det gäller avvikelsetektering används för närvarande djupa autoencoders som grund i moderna system [42]. De ”normala” datapunkterna antas ligga på den icke linjära lågdimensionella representationen som ges av autoencodern och dessa datapunkter har därför ett lågt rekonstruktionsfel när de avkodas tillbaks av autoencodern. I

<sup>4</sup> En autoencoder är en speciell neuronnetarkitektur innehållandes dels en kodare, dels en avkodare. Kodaren komprimerar det högdimensionella indata till en lågdimensionell representation, och avkodaren rekonstruerar den högdimensionella representationen utgående från den lågdimensionella representationen.



kontrast tenderar avvikande datapunkter att ha ett större rekonstruktionsfel. Den beskrivna metoden är tillämplig på ett brett spektrum av utmaningar som sträcker sig från att detektera anomalier hos inkommande sensordata till att flagga upp rapporter som skiljer sig från normen. Den specifika idén som kan knytas till workshoppens avvikelse-detektionskategori handlar om att kunna upptäcka motsärande uppgifter i rapporter och order. I detta sammanhang har aktuell forskning påvisat lovande resultat avseende att kunna avgöra om två meningar är i konflikt [20].

## 4.2 Planering

För att planera militära operationer kan AI i kombination med simulering vara en lönsam kombination. Personal som har till uppgift att planera militära operationer kan utföra what if-tester för att kunna mäta och avgöra den förväntade effekten av genomförandet av olika planer [13, 32]. Målet är att så realistiskt som möjligt kunna simulera de olika effekter som de militära aktiviteterna för med sig. Detta inkluderar både verkan på slagfältet och inverkan på andra faktorer så som moral, logistik och flyktingar.

Det är också viktigt att den militära kunskap som erhålls under träning kan användas som ett hjälpmedel i de beslutsstödssystem som används för planering. Denna kunskap behövs i samband med planeringen för att kunna generera de mål som ska uppnås och för effektiv resursallokering, samt under genomförandet av aktiviteten för att kunna övervaka hur operationen utvecklar sig och för att kunna föreslå nödvändig omplanering av de planerade aktiviteterna.

Planer kan analyseras med kvalitativa eller kvantitativa metoder under planeringsprocessen och före genomförandet. Vid en kvalitativ analys av olika handlingsalternativ kan systemstöd för att belysa likheter och skillnader mellan olika argumentationslinjer användas i syfte att välja, kritisera och förfina olika argument [5]. Ett sådant systemstöd är användbart i beslutsstödssystem syftande till att hjälpa beslutsfattaren argumentera för och mot militära (del-)planer. När handlingsalternativ föreslås av flera olika grupperingar som arbetar med samma övergripande plan kan ett sådant system användas för att dokumentera domänexperternas olika ståndpunkter och kritik mot de handlingsalternativ som föreslås. För att kunna strukturera kritiken och systematiskt bedöma olika aspekter rörande handlingsalternativen används en mall som tillhandahålls till experterna. Denna metod hjälper staben i dess arbete med att upprätthålla en strukturerad analys av alternativa handlingsalternativ under planeringsfasen.

Som ett alternativ till kvalitativ analys kan kvantitativa metoder användas. Ett exempel handlar om kombinationen av AI och multiagentsystem för så kallad ”red teaming” [1]. Red teaming har en lång tradition inom militär planering och beslutsfattande. Ett ”blue team” representerar syfte, mål och intressen för den egna sidan medan fiender representeras av ett red team. Genom att låta ett rött lag imitera fiendens motiv, avsikter, beteenden och förväntade handlingar kan den egna sidan testa och utvärdera sina egna handlingsalternativ, identifiera möjligheter att utnyttja svagheter hos fiender

den och lära sig att förstå dynamiken kring hur blå och röd interagerar. Red teaming är ett sätt att förstå alla beståndsdelar som har potential att påverka ett system och dess beslutsfattandefunktion. Grundidén är att en fiende är en enhet som har mål som konkurrerar med de egna målen, och som aktivt hindrar den egna sidan från att nå sina mål. Här kan AI- och multiagentsystem komma till användning i syfte att stödja beslutsfattande och planering. En sådan utveckling gör det möjligt för beslutsfattare att undersöka möjliga händelseutvecklingar som kan komma att påverka målen, upptäcka och utvärdera egna svagheter, lära sig att förstå fiendens beteende och hitta strategier för att vinna.

### 4.3 Genomförande

Vid genomförande av militära operationer är det viktigt att snabbt kunna erhålla information från slagfältet som kan fusioneras och analyseras med AI-metoder. Befälhavaren behöver informationen för att snabbt kunna fatta kritiska beslut i stressade situationer. Mängden information som levereras till befälhavaren är ofta så stor att det annars finns en betydande risk för överbelastning med alltför mycket information. Problemet uppstår om informationen inte presenteras på ett logiskt, koncist och meningsfullt sätt som befälhavaren kan tillgodogöra sig.

Förutom AI och informationsfusion är högnivåsimulering en viktig metod för beslutsstöd där simulering kan interagera med AI-metoder. Moffat och Witty [25] har utvecklat en modell för beslutsfattande och ledning som bidrar till att ge insikt i den militära beslutsprocessen. I denna modell kan en militär operation ses som en följd av flera på varandra följande strider. Modellen är baserad på spelteori och en operationsanalysteknik benämnd konfrontationsanalys (eng. confrontation analysis). Uppfattningarna av de olika sidorna i konflikten är baserade på spelarnas uppfattning om den nuvarande situationen och de handlingsalternativ som de har till sitt förfogande. Modellen kan användas för högnivåsimulering i syfte att kunna utvärdera operationer inom ramen för ett beslutsstödssystem.

Sedan 2008 har DARPA<sup>5</sup> utvecklat en teknik benämnd ”Deep Green” för militär taktisk ledning. Deep Green hjälper befälhavare att upptäcka och utvärdera fler handlingsalternativ i syfte att därigenom proaktivt bättre kunna hantera en operation. Metoden bakom Deep Green syftar till att ”komma in i” motståndarens OODA-loop [7]. Tanken är att beslutsfattandet ska bli så snabbt att OODA-loopen bryts ner till en extremt snabb OO-loop som i sin tur tillhandahåller en anpassad DA-loop som med grund i den nuvarande lägesinformationen kan simulera många kombinationer av såväl de egna som motståndarens tänkbara beslut och utvärdera dessa alternativ. Deep Green överfördes till amerikanska armén 2013. Sedan dess har DARPA tagit ytterligare steg och har nyligen genomfört ett forskningsprojekt rubricerat ”Real-time Adversarial Intelligence and Decision-making” (RAID) inom vilket prediktiv analys, AI

<sup>5</sup> Defense Advanced Research Projects Agency.

och simulering används för att analysera motståndarens handlingar [18].

Genom RAID utvecklas teknik för att kunna hjälpa en taktisk beslutsfattare att kunna bedöma en fiendlig styrkas position, styrka och syfte samt kunna förutsäga de troliga framtida trupprelserna i syfte att effektivt kunna bekämpa motståndarens handlingar. Detta innefattar att bedöma fiendens avsikt, att förutsäga motståndarens strategi, att upptäcka vilseledning, att planera sina egna möjligheter att vilseleda, att ta fram och utvärdera den egna strategin etc. Dessa problem uppstår vid militär operationsplanering, genomförandet av militära operationer, underrättelseanalys etc. För att uppnå detta kombinerar RAID olika AI-tekniker för planering med andra områden så som kognitiv modellering, spelteori och reglerteknik.

Maskininlärning kan också användas för att utveckla taktik för strid. Många maskininlärningsalgoritmer är emellertid inte tillräckligt snabba eller flexibla för att kunna hitta optimala beteenden hos intelligenta agenter i applikationer så som flygstrid, men det finns deluppgifter som redan i dag kan lösas. Q-learning [39], en algoritm för förstärkt inlärning, har framgångsrikt utvärderats för uppgifter relaterade till fördelning av luftstridsmål [22]. Algoritmen lär sig optimala handlingar för olika tillstånd utan att behöva använda några stora datamängder eller annan a priori-information.

Ibland behövs beteenderegler för en sekvens av liknande scenarier. I denna situation kan överföringsinlärning (eng. transfer learning) användas för att reducera tiden som behövs för träning av en maskininlärningsmodell. När man exempelvis vill träna upp en modell för flygstrid i olika 2-mot-2-scenarier kan man börja med att använda agenter som redan har erfarenhet av 2-mot-1-scenarier. I experiment har det påvisats just att erfarenheter som redan erhållits i 2-mot-1-scenarier är mycket fördelaktiga att ha som grund för utveckling av taktik i 2-mot-2-scenarier eftersom den ytterligare träning av maskininlärningsmodellen som då behövs blir minimal [37]. Att på detta sätt använda överföringsinlärning kan i många fall leda till snabb utveckling av agentbeteende för nya typer av scenarier.

Som nämnts i kapitel 3 finns det under genomförandefasen också ett behov av att ta hjälp av AI-metodik för att mer effektivt kunna utföra stabsarbete. En av de idéer som nämndes i samband med workshoppen handlar om att automatiskt kunna generera rapportsammanfattningar. Det identifierade behovet härstammar från den hierarkiska militära organisationsstrukturen där övre nivåer mottar rapporter från anslutna lägre nivåer, vilket innebär att en i teorin exponentiellt ökande informationsmängd vidarebefordras uppåt om ingen sammanfattning eller annan typ av syntes utförs längs vägen. Tidigare har automatisk textsammanfattning främst handlat om att extrahera relevant information, vilket i praktiken inneburit att nästintill fullständiga meningar från originaldokumenten har använts för att sätta ihop textsammanfattningarna. Med den senaste djupinlärningstekniken benämnd sequence-to-sequence modeling [36] har nya metoder för textsammanfattning uppstått [29, 33]. Dessa metoder kan skapa sammanfattningar där nya formuleringar som inte finns i originaldokumenten produceras.

En annan idé som nämndes handlar om att transkribera tal till text. Maskininlärning har alltid varit grunden för utvecklingen av taligenkänningsystem, och da-

gens moderna algoritmer bygger alla på djupinlärningstekniker. Utvecklingen har med djupinlärningens hjälp gått snabbt framåt. Exempelvis kunde algoritmen som Microsoft presenterade under 2017 nå en noggrannhet jämförbar med vad människor kan prestera [41].

## 5 Utmaningar

I det här avsnittet diskuteras några potentiella utmaningar med att integrera AI i militära beslutsstödsystem. Specifikt diskuteras möjligheten till genomförande och förklarbarheten hos dagens AI-tekniker.

### 5.1 Genomförbarhet

De olika idéerna som framkom vid workshoppen har olika teknisk mognadsgrad. Exempelvis har det AI-baserade logistikplaneringsverktyget ”Joint Assistant for Deployment and Execution” (JADE) använts av den amerikanska militären under lång tid [27] och US Naval Research Laboratory har utvecklat ett uppdragsplanerings- och träningsverktyg som heter Sniper-RT<sup>6</sup>. Sniper-RT bygger på 3D-terrängdata och kan svara på frågor av typen ”vad kan jag se?” eller ”var kan jag bli sedd?”, vilka är viktiga frågor att ta hänsyn till vid utplacering av sensorer eller vid behov av att kunna bedöma skydd och skyl. Ett annat teknologiskt moget AI-område är automatisk taligenkänning. Microsoft, Google, Amazon med flera har alla produkter som utnyttjar de senaste djupinlärningsteknikerna för röstbaserade kommunikationssystem.

Bland de datorlingvistiska tillämpningarna som nämns i avsnitt 4.1 och 4.3 finns det i dag effektiva algoritmer för att kunna hitta liknande dokument som är tillräckligt mogna att kunna användas i riktiga system. Teknikerna för entitetsextraktion och automatisk textsammanfattning är något mindre mogna, men det finns redan i dag kommersiella system att tillgå.<sup>7</sup> Den svåraste utmaningen bland de identifierade behoven som analyserats, och det område som är minst moget, handlar om att finna motsättningar mellan olika dokument. Inlärningsalgoritmen som används för att upptäcka motsägelser kräver ett ytterligare lager av abstrakt resonerande jämfört med vanliga klassificeringsproblem.

Som påvisats under de senaste årens många AI-genombrott är det av fundamental betydelse att ha tillgång till stora mängder data för att kunna ta fram kraftfulla AI-system. Beroende på scenario och/eller applikation kan detta innebära en stor utmaning i många militära sammanhang. Tekniker så som överföringsinlärning, där maskininlärningsmodeller som tränats för liknande applikationer anpassas för det aktuella problemet, kommer att vara viktiga för många militära applikationer när data är knappa. Exempelvis skiljer sig militära rapporter och sammanfattningar från de civila motsvarigheterna, men med tanke på likheterna kan man ändå förvänta sig att en textsammanfattningsalgoritm som tränats på ickemilitär text skulle kunna vara en bra utgångspunkt för en maskininlärningsmodell som går ut på att lära sig att sammanfat-

<sup>6</sup> <https://www.nrl.navy.mil/techtransfer/available-technologies/IT/sniper-rt> [2018-11-23].

<sup>7</sup> Se t.ex. <https://primer.ai/> [2018-11-23].

ta för militärt bruk. Inom detta område pågår mycket forskning syftande till att t.ex. utreda hur mycket träningsdata som behövs för att kunna uppnå bättre klassificeringsprestanda med djupinlärning jämfört med att använda överföringsinlärning [19].

## 5.2 Transparens och tillit

Förmågan hos ett beslutsstödssystem att kunna förklara sina rekommendationer är avgörande för att beslutsfattare ska kunna förstå och lita på systemet [21]. Inom området explainable AI (XAI) ligger fokus på klassificering av heterogena data, planering, dataframställning, och framtagande av beslutsalternativ. Forskningsområdet syftar till att kombinera maskininlärningsmetodik med förklaringsmodeller [6] där maskininlärningssystem har kapacitet att förklara sina rekommendationer och beskriva styrkor och begränsningar i det underliggande resonemanget.

Det här forskningsområdet är inte nytt, men det har accentuerats i takt med den ökade användningen av maskininlärning. Det finns flera sätt som AI-system kan förklara sina rekommendationer på. För det första uppfattas vissa typer av modeller som mer transparenta än andra, så som linjära modeller, regelbaserade system eller beslusträd. Att granska sådana modeller ger en förståelse för deras sammansättning och hur beräkningar görs. Sådana transparenta modeller kan vidare användas för att approximera resonemanget som görs i de mindre transparenta maskininlärningssystemen, och på så sätt öka förståelsen och därigenom förklara de rekommendationer som ges. Det approximativa resonemanget kan antingen prova hela beslutsstödssystemet eller bara området kring en bestämd beslutspunkt [28].

Även hybridssystem som kombinerar olika grad av transparens är tänkbara där den minst transparenta nivån, t.ex. djupinlärning, är förbunden med en mer transparent nivå där det approximativa resonemanget utförs för att kombinera osäkra data från olika resonerandeprocesser. En sådan XAI-lösning ansluter maskininlärning till högre nivåers approximativa resonemang och beslutsfattande, vilket ger beslutsfattarna förklaringar då beslut baseras delvis på maskininlärningsresultat.

För att kunna tillhandahålla insikter i hur djupa neuronät fungerar är det viktigt att utveckla en sannolikhetsstolkning av neuronät där vikterna i neuronätet ses som sannolikheter, och nätverket är uppdelat i delnätverk med utgångspunkt i en förklarande process som handlar om hur informationshanteringsuppgifterna skiljer sig bland neuronerna i nätverket. Denna partitionering kan t.ex. utföras av en annan maskininlärningsmodul, och flera olika metoder kan övervägas för denna sekundära uppgift (t.ex. Kohonen-nätverk [17]). Varje delnätverk kan sedan matchas med en nod i ett beslusträd, vilket i sin tur kan analyseras ur förklarbarhetssynpunkt genom att varje nods inflytande på den övergripande slutsatsen som uppnåtts av beslusträdet undersöks. Ett sådant tillvägagångssätt kommer således att föra över en problemlösningsförmåga på en djupinlärningsnivå till en problemförklaringsförmåga på en abstrakt nivå.

Tillämpningar som kan tänkas behöva använda djupinlärning tillsammans med ett högnivåresonerandesystem kännetecknas av att de är generiska tillämpningar där det

finns stora mängder historiska träningsdata eller där data kommer från en simulator eller där strömmande data inkommer som är av en typ som inte nödvändigtvis är helt känd i förväg. I tillämpningarna finns ett problem som behöver hanteras (och som kan utvecklas dynamiskt över tiden) som kräver ett högnivåresonemang för att information från olika källor ska kunna integreras, bland annat genom maskininlärningsprocesser, till ett beslutsstöd som presenterar lösningar på högnivåproblemet.

Ett annat aktivt XAI-forskningsområde handlar om att visualisera lösningen i termer av de särdrag som spänner upp indatarymden. Det finns typiskt två huvudspår inom särdragsvisualisering, dels aktiveringsmaximering, dels DNN-förklaring. Vid aktiveringsmaximering beräknas vilka särdrag (indata) som maximalt kommer att aktivera de olika rekommendationerna (utdata) [26]. DNN-förklaring handlar i stället om att försöka förklara de rekommendationer som ges genom att lyfta fram de särdrag som är särskiljande, vilket kan beräknas med känslighetsanalys som använder sig av lokala gradienter eller något annat mått på variation [26].

Framtida XAI-lösningar kommer sannolikt att närma sig hur människor i allmänhet förklarar andras beteende i termer av uppfattningar, önskemål och intentioner. Miller [24] tillhandahåller en omfattande översikt över förklaringsmodeller inom samhällsvetenskaplig forskning och hur denna kunskap skulle kunna användas för att utforma förklaringsmodeller för AI-system. De viktigaste slutsatserna är att (i) förklaringar står i kontrast till särskilda händelser, (ii) förklaringar väljs och fokuseras på en eller två möjliga orsaker och (iii) förklaringar är en social konversation och interaktion syftande till kunskapsöverföring.

## 6 Slutsatser

Den föreliggande studien har syftat till att undersöka hur AI-metoder skulle kunna användas för att berika beslutsstödsfunktionaliteten i framtida ledningssystem. Studien har pekat på olika AI-perspektiv, identifierat områden där AI-verktyg sannolikt skulle kunna göra skillnad och belyst konkreta uppgifter som har stora förutsättningar att kunna dra nytta av införandet av AI-funktionalitet.

Sett ur ett ledningssystemsperspektiv pekar studien på tre primära aktiviteter i ledningsprocessen där AI-funktionalitet bör beaktas, nämligen (i) sensemaking, (ii) planering och (iii) militär aktivitet, i enlighet med den vedertagna DOODA-loopen i figur 1. För att underlätta sensemakingprocessen kan verktyg för hantering och nyttjande av olika typer av informationsfragment på olika nivåer förväntas resultera i lätt uppnåeliga fördelar. För planering kan verktyg för arbete med taktiska databaser (terräng, logistik, doktrin etc.) kombineras med beslutsstödsverktyg som gör det möjligt för befälhavaren att kunna utvärdera olika handlingsalternativ på flera olika abstraktionsnivåer. Slutligen skulle AI-stöd i samband med militär aktivitet kunna underlätta för befälhavaren att utvärdera handlingsalternativ, samt underlätta olika typer av stabsarbete genom att t.ex. använda taligenkänningsverktyg för att snabbt och korrekt transkribera och kommunicera sammanställningar av mötesanteckningar, order m.m.

De största utmaningarna med att införa AI som behöver övervägas från ett slutanvändarperspektiv handlar främst om mognad och tillit. Avseende genomförbarheten är det inte förvånande att de idéer som uppkommit under studien avser olika tekniska mognadsgrad när det gäller forskning och utveckling. Vissa verktyg, t.ex. taligenkänningsverktyg, terränganalysfunktionalitet etc., är redan ganska mogna och kan köpas från hyllan, medan andra områden, t.ex. spelteoretiska verktyg för att kunna hantera en medveten motståndare [9, 10, 11], kommer kräva många år av grundforskning innan funktionaliteten kan implementeras. När det gäller transparens så är detta en viktig utmaning som behöver övervägas när det gäller militärt beslutsstöd, där det är viktigt att kunna förklara rekommendationer och att kunna förstå och lita på systemet. Det finns dock mycket kvar att göra när det gäller framtagandet av transparenta AI-system, samtidigt som transparensområdet är ett aktivt forskningsfält med många lovande forskningsresultat som har presenterats de senaste åren.

### 6.1 Förslag till framtida arbete

Denna studie bör följas upp med en serie uppföljande användarcentrerade designaktiviteter i syfte att ta fram en uppsättning välförankrade användningsfall, som sedan kan användas som underlag för upphandling och ytterligare tester av den faktiska AI-funktionaliteten i en militär ledningskontext tillsammans med militär personal.



## Referenser

- [1] H. Abbass, A. Bender, S. Gaidow och P. Whitbread. Computational red teaming: past, present and future. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 6(1):30–42, 2011. DOI: 10.1109/MCI.2010.939578.
- [2] C. Abras, D. Maloney-Krichmar och J. Preece. User-centered design. I W. S. Bainbridge, redaktör, *Berkshire Encyclopedia of Human-Computer Interaction: When science fiction becomes science fact*, volym 2, sidorna 763–768. Berkshire Publishing Group, Great Barrington, MA, 2004.
- [3] S. Ahlberg, P. Hörling, K. Johansson, K. Jöred, H. Kjellström, C. Mårtenson, G. Neider, J. Schubert, P. Svenson, P. Svensson och J. Walter. An information fusion demonstrator for tactical intelligence processing in network-based defense. *Information Fusion*, 8(1):84–107, 2007. DOI: 10.1016/j.inffus.2005.11.002.
- [4] K. Ayoub och K. Payne. Strategy in the age of artificial intelligence. *Journal of Strategic Studies*, 39(5–6):793–819, 2016. DOI: 10.1080/01402390.2015.1088838.
- [5] J. Bentahar, B. Moulin och M. Bélanger. A taxonomy of argumentation models used for knowledge representation. *Artificial Intelligence Review*, 33(3):211–259, 2010. DOI: 10.1007/s10462-010-9154-1.
- [6] O. Biran och C. Cotton. Explanation and justification in machine learning: a survey. I *Proceedings of the Workshop on Explainable Artificial Intelligence (XAI)*, sidorna 8–13. IJCAI, Menlo Park, CA, 2017.
- [7] J. R. Boyd. A discourse on winning and losing. Air University Library Document M-U 43947, Maxwell Air Force Base, Montgomery, AL, 1987.
- [8] B. Brehmer. Command and control as design. I *Proceedings of the 15th International Command and Control Research and Technology Symposium*. US Department of Defense CCRP, Washington, DC, 2010. Artikel nummer 182.
- [9] J. Brynielsson. *A Gaming Perspective on Command and Control*. Doktorsavhandling, Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm, 2006. URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-4029>.
- [10] J. Brynielsson. Using AI and games for decision support in command and control. *Decision Support Systems*, 43(4):1454–1463, 2007. DOI: 10.1016/j.dss.2006.06.012.
- [11] J. Brynielsson och S. Arnborg. An information fusion game component. *Journal of Advances in Information Fusion*, 1(2):108–121, 2006. URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-24204>.

- [12] J. Brynielsson, A. Horndahl, L. Kaati, C. Mårtenson och P. Svenson. Development of computerized support tools for intelligence work. I *Proceedings of the 14th International Command and Control Research and Technology Symposium*. US Department of Defense CCRP, Washington, DC, 2009. Artikel nummer 48.
- [13] J. Brynielsson, S. Lindquist och L. Luotsinen. Efficient implementation of simulation support for tactical-level military training. I *Proceedings of the 2016 Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference*. National Training and Simulation Association (NTSA), Arlington, VA, 2016. Artikel nummer 16292.
- [14] R. Collobert, J. Weston, L. Bottou, M. Karlen, K. Kavukcuoglu och P. Kuksa. Natural language processing (almost) from scratch. *Journal of Machine Learning Research*, 12:2493–2537, 2011.
- [15] A. Esteva, B. Kuprel, R. A. Novoa, J. Ko, S. M. Swetter, H. M. Blau och S. Thrun. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542:115–118, 2017. DOI: 10.1038/nature21056.
- [16] M. García Lozano, J. Schreiber och J. Brynielsson. Tracking geographical locations using a geo-aware topic model for analyzing social media data. *Decision Support Systems*, 99:18–29, 2017. DOI: 10.1016/j.dss.2017.05.006.
- [17] T. Kohonen. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43(1):59–69, 1982. DOI: 10.1007/bf00337288.
- [18] A. Kott och M. Ownby. Toward a research agenda in adversarial reasoning: computational approaches to anticipating the opponent’s intent and actions, 2015. arXiv: 1512.07943.
- [19] M. C. Kruithof, H. Bouma, N. M. Fischer och K. Schutte. Object recognition using deep convolutional neural networks with complete transfer and partial frozen layers. I *Proceedings of SPIE Vol. 9995, Optics and Photonics for Counterterrorism, Crime Fighting, and Defence XII*. SPIE, Bellingham, WA, 2016. DOI: 10.1117/12.2241177. Artikel nummer 99950K.
- [20] V. Lingam, S. Bhuria, M. Nair, D. Gurpreetsingh, A. Goyal och A. Sureka. Deep learning for conflicting statements detection in text, 2018. DOI: 10.7287/peerj.preprints.26589v1. PeerJ Preprints: 6:e26589v1.
- [21] S. M. Lundberg och S.-I. Lee. An unexpected unity among methods for interpreting model predictions. I *Proceedings of the Workshop on Interpretable Machine Learning for Complex Systems*. NIPS, La Jolla, CA, 2016. arXiv: 1611.07478.

- [22] P.-c. Luo, J.-j. Xie och W.-f. Che. Q-learning based air combat target assignment algorithm. I *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, sidorna 779–783. IEEE, Piscataway, NJ, 2016. DOI: 10.1109/SMC.2016.7844336.
- [23] C. McCann och R. Pigeau. Clarifying the concepts of control and of command. I *Proceedings of the Command and Control Research and Technology Symposium*. US Department of Defense CCRP, Washington, DC, 1999. Artikel nummer 19.
- [24] T. Miller. Explanation in artificial intelligence: insights from the social sciences, 2017. arXiv: 1706.07269.
- [25] J. Moffat och S. Witty. Bayesian decision making and military command and control. *Journal of the Operational Research Society*, 53(7):709–718, 2002. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2601347.
- [26] G. Montavon, W. Samek och K.-R. Müller. Methods for interpreting and understanding deep neural networks. *Digital Signal Processing*, 73:1–15, 2018. DOI: 10.1016/j.dsp.2017.10.011.
- [27] A. M. Mulvehill, C. Hyde och D. Rager. Joint assistant for development and execution (JADE). Final Technical Report AFRL-IF-RS-TR-2001-171, US Air Force Research Laboratory, Rome, NY, 2016.
- [28] M. T. Ribeiro, S. Singh och C. Guestrin. ”Why should I trust you?”: explaining the predictions of any classifier. I *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, sidorna 1135–1144. ACM, New York, NY, 2016. DOI: 10.1145/2939672.2939778.
- [29] A. M. Rush, S. Chopra och J. Weston. A neural attention model for abstractive sentence summarization. I *Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, sidorna 379–389. Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, PA, 2015.
- [30] R. Salakhutdinov och G. Hinton. Semantic hashing. *International Journal of Approximate Reasoning*, 50(7):969–978, 2009. DOI: 10.1016/j.ijar.2008.11.006.
- [31] J. Schubert, J. Brynielsson, M. Nilsson och P. Svenmarck. Artificial intelligence for decision support in command and control systems. I *Proceedings of the 23rd International Command and Control Research and Technology Symposium*. International Command och Control Institute, Washington, DC, 2018. Artikel nummer 30.
- [32] J. Schubert, F. Moradi, H. Asadi, L. Luotsinen, E. Sjöberg, P. Hörling, A. Linderhed och D. Oskarsson. Simulation-based decision support for evaluating operational plans. *Operations Research Perspectives*, 2:36–56, 2015. DOI: 10.1016/j.orp.2015.02.002.

- [33] A. See, P. J. Liu och C. D. Manning. Get to the point: summarization with pointer-generator networks, 2017. arXiv: 1704.04368.
- [34] D. Silver, J. Schrittwieser, K. Simonyan, I. Antonoglou, A. Huang, A. Guez, T. Hubert, L. Baker, M. Lai, A. Bolton, Y. Chen, T. Lillicrap, F. Hui, L. Sifre, G. van den Driessche, T. Graepel och D. Hassabis. Mastering the game of Go without human knowledge. *Nature*, 550:354–359, 2017. DOI: 10.1038/nature24270.
- [35] J. Simonsen och T. Robertson. *Routledge International Handbook of Participatory Design*. Routledge, New York, NY, 2013.
- [36] I. Sutskever, O. Vinyals och Q. V. Le. Sequence to sequence learning with neural networks. I *Proceedings of the 2014 International Conference on Neural Information Processing Systems*, sidorna 3104–3112. NIPS, La Jolla, CA, 2014.
- [37] A. Toubman, J. J. Roessingh, P. Spronck, A. Plaat och J. van den Herik. Transfer learning of air combat behavior. I *Proceedings of the 2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications*, sidorna 226–231. IEEE, Piscataway, NJ, 2015. DOI: 10.1109/ICMLA.2015.61.
- [38] P. Turner och L. Dodd. Developing the cognitive and social aspects of military 'understanding capability'. I *Proceedings of the 21st International Command and Control Research and Technology Symposium*. International Command och Control Institute, Washington, DC, 2016. Artikel nummer 69.
- [39] C. J. C. H. Watkins och P. Dayan. Q-learning. *Machine Learning*, 8(3–4):279–292, 1992. DOI: 10.1007/BF00992698.
- [40] K. E. Weick, K. M. Sutcliffe och D. Obstfeld. Organizing and the process of sensemaking. *Organization Science*, 16(4):409–421, 2005. DOI: 10.1287/orsc.1050.0133.
- [41] W. Xiong, L. Wu, F. Allewa, J. Droppo, X. Huang och A. Stolcke. The Microsoft 2017 conversational speech recognition system. Microsoft Technical Report MSR-TR-2017-39, 2017. arXiv: 1708.06073.
- [42] C. Zhou och R. C. Paffenroth. Anomaly detection with robust deep autoencoders. I *Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, sidorna 665–674. ACM, New York, NY, 2017. DOI: 10.1145/3097983.3098052.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00  
Fax: 08-55 50 31 00

[www.foi.se](http://www.foi.se)