

Dan Strömberg, Maria Andersson, Göran Pettersson,
Robert Forsgren

Temporala displayer

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem
Box 1165
581 11 Linköping

FOI-R--0576--SE

September 2002

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

Dan Strömberg, Maria Andersson, Göran Pettersson, Robert
Forsgren

Temporala displayer

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0576--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 8. Människan i totalförsvaret	
	Månad, år September 2002	Projektnummer E7022
	Verksamhetsgren 1. Forskning för regeringens behov	
	Delområde 81 MSI med fysiologi	
Författare/redaktör Dan Strömberg Maria Andersson Göran Pettersson Robert Forsgren	Projektledare Dan Strömberg	
	Godkänd av Johan Mårtensson, institutionschef	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Författarna	
Rapportens titel Temporala displayer		
Sammanfattning (högst 200 ord) Temporaldisplayen är ett sätt att grafiskt illustrera hotsituationen för en plattformoperatör (flygförare, fartygsoperatör, markfordonsförare) i strid. Den har vuxit fram ur insikten att varje rörlig plattform har ett energiinnehåll i sin rörelse relativt andra plattformar, och att detta energiinnehåll kan uttryckas i termer av handlingsmöjligheter och tidsintervall. Rapporten beskriver hur dessa förhållanden kan illustreras med grafisk teknik i en temporaldisplay, ibland också kallad för hotdisplay. Dessutom behandlas en för temporaldisplayen viktig informationskälla, nämligen en metod för att ur sensormätdata dra slutsatser om måltyp hos observerade plattformar i omvärlden. Denna metod är dolda Markovmodeller, och i ett exempel visas hur rörelsebeteenden hos flygplan kan avslöja något om vad för slags flygplan det är. Avslutningsvis presenteras en teoribildning inom kognitionsvetenskapen där operatör och maskin beskrivs i en gemensam terminologi med syftet att bättre kunna integrera operatören och operatörsrollen i komplexa tekniska system. Cognitive Systems Engineering behandlar beslutsloopen som en för människan och maskinen gemensam grundkomponent i alla slags beslutsstödsverktyg.		
Nyckelord Hotdisplay, temporaldisplay, operatör, målklassificering, markovmodeller, kognitionsvetenskap		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 39 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--0576--SE	Report type Technical report
	Research area code 8. Human Systems	
	Month year September 2002	Project no. E7022
	Customers code 1. Policy Support to the Government	
	Sub area code 81 Human Factors and Physiology	
Author/s (editor/s) Dan Strömberg Maria Andersson Göran Pettersson Robert Forsgren	Project manager Dan Strömberg	
	Approved by Johan Mårtensson, Head of Department	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible The authors	
Report title (In translation) Temporal Displays		
Abstract (not more than 200 words) <p>The temporal display is a way to graphically illustrate the threat situation for an operator of a mobile platform (aircraft, ship and land vehicle) in combat. It has grown out from the knowledge that each mobile platform has an energy content in its movement in relation to other platforms, and that this energy content can be expressed in terms of action possibilities and time intervals. The report describes how these circumstances might be illustrated with graphical techniques in a temporal display, sometimes also called threat display. Furthermore, an important information source for the threat display is described. This method, Hidden Markov Models, can infer target type information from sensor data. An example shows how flying patterns can reveal some facts about the type of an aircraft. Finally, a theory within cognitive science is presented, where operator and machines are described in a common terminology with the aim to improve the integration of operators and operator roles in complex technical systems. Cognitive Systems Engineering uses the decision loop as a common tool towards which both operators and machines can interact in all kinds of decision support tools.</p>		
Keywords Temporal display, threat display, operator, target classification, markov models, cognitive science		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 39	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

1. Inledning	5
2. Plattformsoperatörens hotbild	6
2.1. Inledning	6
2.2. Problemet	7
2.3. Missile Launch Envelope MLE	8
2.4. MLE-baserad visualisering	11
2.5. Temporaldisplay	12
2.6. Funktion med och utan STRIC	19
2.7. Realisering med Datafusionsnod	19
2.8. Utvärdering	19
2.9 Mer temporal information	20
3. Målklassificering	22
3.1. Modell för målklassificering	23
3.2. Metod	24
3.3. Att särskilja olika kategorier av flygande mål	26
3.4. Ett enkelt exempel	27
4. Kognitionsteori	31
4.1. Sammanfattning	31
4.2. Bakgrund	32
4.3. Grunder	32
4.4. Kognition och styrning	33
4.5. Hantering av komplexitet och informationsöverbelastning	34
4.6. Förmågan att tänka, påverka och styra	35
4.7. Målmedelsanalys	35
4.8. Funktionsorienterad automation och adaption	35
5. Referenser	36
6. Bilaga: Ekvationsunderlag.	38

Tack

Förutom författarna har många andra personer bidragit till denna rapport. Särskilt tack går härmed till Tomas Berg och Thomas Kaijser.

1. Inledning

Operatörer i stridsplattformar (såsom flygplan, fartyg och markfordon) har stort behov av fortlöpande aktuell, relevant och lättuppfattad omvärldsbild ("koll på läget"). Utvecklingsläget i dagens stridsplattformar är emellertid sådant att den omvärldsbild som presenteras på displayerna framför operatören inte till fullo utnyttjar tillgänglig information. Skälet är brister i datainsamlingen (sensorerna), databehandlingen (fusion mm) och presentationen (displayerna). Denna rapport fokuserar på de två senare områdena, och visar vilka förbättringsmöjligheter som finns där. En kommande rapport kommer att visa vilka förbättringar som kan göras i sensorerna.

Det finns idag intressant hotinformation som inte visas för operatören/flygföraren. Denna information skulle kunna förbättra hans/hennes situationsuppfattning. Ett sätt att göra detta är att förbättra analysen av de hot som finns i omvärlden. Detta kan göras med en så kallad *hotdisplay*. Utvärderingar har visat att flygförare förbättrar sin "kill-rate" med hotdisplay. Hotdisplayen presenteras i kapitel 2.

Hotbedömningen måste föregås av en situationsbedömning. Ett huvudmoment i situationsbedömningen är *målklassificeringen*. Ur operatörens synpunkt är målklassificering lika viktig som målföljning, men mycket svårare att åstadkomma tekniskt. I kapitel 3 presenteras en enkel men ännu icke praktiskt verifierad modell för målklassificering.

Avslutningsvis introduceras, i kapitel 4, en kunskapsbaserad teori för människa-maskin-samverkan i tekniskt komplexa system, *kognitionsteorin*. Denna hjälper oss bland annat att studera de problem som uppstår vid automation, vilket är en nödvändighet men samtidigt ett problem i operatörsstyrda plattformar, inte minst i cockpits i moderna trafikflygplan.

2. Plattformsoperatörens hotbild

2. 1. Inledning

Detta kapitel presenterar temporal- eller hot-displayen. Denna visar en bild av omvärlden som ger information både om förväntade hotande händelser och egna aktionsmöjligheter. Bilden visar alltså vad som *kan komma att hända* i fråga om farliga händelser och egna handlingsmöjligheter, snarare än det faktiska nuläget. Den baseras på beräkningar av predikterade händelser som operatören annars måste kalkylera eller gissa sig fram till, och den ersätter och stödjer på så sätt de gissningar och det arbete som flygföraren eller stridsledaren normalt gör för att förutsäga framtida händelser och möjligheter (engelska: 'opportunities'). Hotdisplayens omvärldsbild är överlägsen den spatialska bilden genom att den förbättrar operatörens situationsuppfattning.

Inledningsvis introduceras en annan aktuell ansats för visning av omvärldsbild åt flygföraren i jaktstridsflygplan. Den bygger på att spatialska presentera skjutzoner i relation till en motståndare, i spatiella dimensioner. Därefter redovisas vår hotdisplay. Resonemanget är fokuserat på jaktstrid (flyg) men kan överföras också till andra områden och plattformstyper (fartyg, fordon). Kapitlets senare del redovisar resultaten av en utvärdering där försökspersonerna var provförares. Den spatiella ansatsen blir allt vanligare i dagens flygplan.

Förmågan att bedöma risker och egna handlingsmöjligheter är av stort potentiellt värde för flygförare och andra plattformsoperatörer i strid. Denna förmåga kan avsevärt förbättras med hjälp av hotdisplayen. Den kan använda data från flera håll, till exempel från sensorer på flygplanet, från andra flygplan och via länk från markcentral, om sådan finns uppkopplad. Hotdisplayen använder de data som finns tillgängliga för att beräkna hot och risker.

Hotdisplayen har tidigare utvärderats i ett projektsamarbete med SAAB Aerospace. Denna utvärdering, se Linde et al (2000), begränsades till jaktflygplan och gjordes med endast två försökspersoner/

flygförare. För att kunna fortsätta verifieringsarbetet har en simulator byggts upp på FOI, se Strömberg et al (2000), Strömberg (2001) och Strömberg et al (2002). Denna simulerar plattformsbeteende och sensoroperationer, utför datafusionsoperationer och gör risk och hotberäkningar av potentiellt fiendliga aktörer.

För flygförare i strid är bra situationsuppfattning ett villkor för överlevnad och uppdragsutförande. Situationsuppfattningen har i analyser av Endsley (1990) indelats i olika moment, där ett av momenten är prediktering. Prediktering innebär att situationsbetraktaren, i detta fall flygföraren, kan förutsäga framtida viktiga händelser, hot och handlingsmöjligheter ('opportunities'). Denna förmåga är nödvändig för att genomföra framgångsrika uppdrag. För att underlätta förarens situationsbedömning används olika visualiseringstjänster. I denna rapport presenteras ett par sådana, varav den första är spatialt baserad. Därefter beskrivs den temporalt baserade displayen som framställts och patenterats i projektet. Den baseras på en automatisk hotbedömningsprocess, där målklassificering ingår som en viktig del. Automatisk målklassificeringsförmåga saknas oftast i dagens system, men i ett följande kapitel presenteras en metod för hur denna brist kan avhjälpas.

2. 2. Problemet

En flygförare i strid är aktör i ett rum som också innehåller en eller flera andra aktörer. Han/hon har ett uppdrag och en målsättning. Flyguppdraget bildar ett företag som också kan omfatta kamrater och allierade i andra plattformar. Vissa förare har uppgiften att avvärja flygburet hot, det vill säga fiendliga flygplan och andra vapensystem, mot eget eller allierades företag. Detta görs i jaktstrid. Om de fiendliga aktörerna befinner sig utom synhåll för varandra sägs striden äga rum i BVR-mode, Beyond Visual Range, och där måste han/hon lita till data till sensorer och andra källor.

I jaktstrid är räckvidd och andra vapenprestanda avgörande faktorer. Det i BVR viktigaste vapnet är missiler. För att kunna hantera det hot som fiendliga missiler utgör är det viktigt att kunna bedöma risken att de ska träffa den egna plattformen, och att kunna väga den risken mot

möjligheten att själv använda egna missiler mot fientliga plattformar. Om risk föreligger att bli nedskjuten är det viktigt att kunna fly eller på annat sätt undvika missilerna. Om det finns goda möjligheter att bekämpa fientliga företag är det viktigt att dessa tydliggörs. Föraren är därför betjänt av hjälpmedel som underlättar dessa bedömningar. Det är här som temporal- eller hot-displayen kommer in i bilden. Hotdisplayen visar tydligt vilka förhållanden som råder, i fråga om risker, hot och aktionsmöjligheter. Detta är den stora fördelen med hotdisplayen.

Tillkomsten av hotdisplayen i den form den presenteras här förbättrar alltså omvärldsuppfattningen hos plattformsoperatören. Trots detta är fortfarande inte all information utnyttjad om effekten av de framtida handlingar och aktioner som operatören kan utföra, se bland annat Pettersson (1998). Hur denna ytterligare information skall utnyttjas och presenteras är dock inte klart, utan föremål för framtida forskning.

2. 3. Missile Launch Envelope (MLE) display

Detta avsnitt behandlar vissa för hotdisplayen viktiga förhållanden i missilstrid. Innehållet har hämtats från Blackman et al (1999), sid 808-811. Denna displaytyp blir allt vanligare i dagens jaktflyplan, och behandlas här för att kunna jämföras med hotdisplayen.

Situationsbedömningen för en jaktförare handlar till stor del om vilka mål som kan attackeras och vilka som kan attackera honom/henne själv. De som kan attackera honom/henne själv måste hållas under extra noggrann bevakning så att han/hon kan vidta nödvändiga flyktåtgärder eller gå till mottack. Situationsbedömningen handlar också om vilka mål han/hon själv kan attackera. Systemet bör prioritera dessa mål så att sensorstyrningen kan allokera tillräckligt med sensorresurser på dem så att spanings- och vapensinsatser mot dem kan åstadkommas. Under förutsättningen att energiemissionspolicyn så medger, skall målföljesystemet kunna tillhandahålla en vapenbaserad lösning om föraren så önskar.

Även en förenklad beskrivning av missilvapnet blir lätt komplex, eftersom det handlar om en interaktion mellan ett antal komplexa delsystem, till exempel den vapenbärande plattformens målföljare, missilens navigationssystem, målsöksystem, manöversystem, framdrivningssystem och tändutlösare. Alla dessa delsystem måste fungera om vapnet skall träffa. Andra betydelsefulla faktorer är målets och vapenbärandarens kinematik, relativa och absoluta höjder, vidare målets aspektvinkel mot vapenbäraren, målets motmedelsanvändning samt den allmänna signalmiljön (t ex klotter och brus).

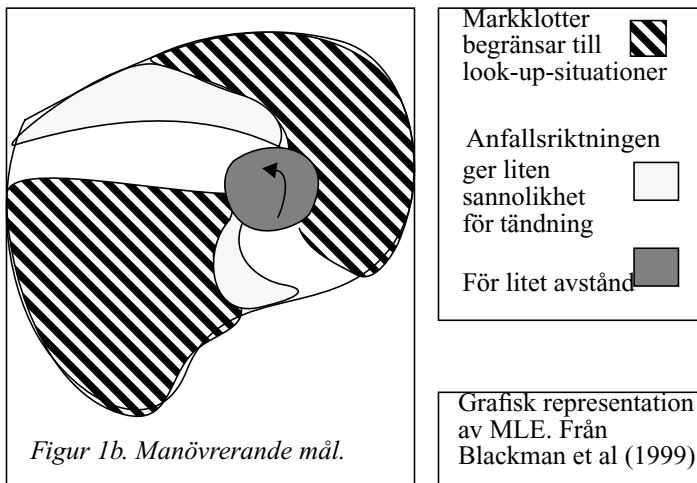
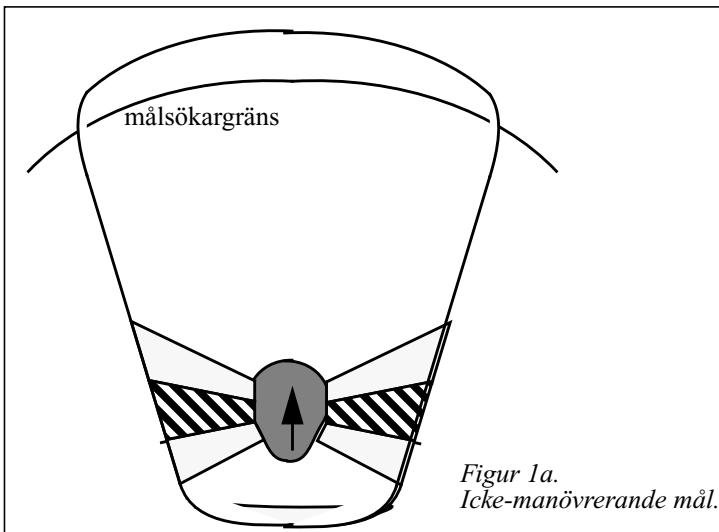
Effekten av de dominerande faktorerna i detta spel kan åskådliggöras grafiskt, se figur 1, som visar en Missile Launch Envelope, MLE.

Figur 1a visar ett raktflygande mål. Det representeras av den grova pilen i mitten. De omgivande ytorna visar vapenbärandarens handlingsmöjligheter. Om den är utanför målets yttre MLE-gräns kan dess missil icke nå målet; den yttre gränsen representerar missilens kinematiska gräns. Den beräknas med hänsyn till vapenbärandarens och målets höjder, relativa hastigheter och aspektvinklar. Den stora skillnaden mellan ytorna framför och bakom målet beror på att missilen har betydligt svårare att nå målet bakifrån än framifrån.

De grafiska symbolerna förklaras på följande sätt: Utanför målsökargränsen fungerar ej missilens målsökare; utanför denna gräns kan dock missilen gå för "död räkning". Look-up-kravet, som finns om missilen kommer in från sidan på målet, beror på att målet annars kommer in i huvudloben från markklottret, som alltså gör målet osynligt. Termen 'look-up' (titta upp) betyder att missilen ser målet mot himmelssfären och ej med marken som bakgrund. De intilliggande regionerna, som alltså uppstår då missilen kommer in nästan tvärs från sidan, beror på att geometrin i slutfasen av missilens väg är sådan att sannolikheten för sprängning starkt minskar. Den inre rundade formen visar det område innanför vilken missilens utlösningmekanism (tändare) ej fungerar.

Figur 1b visar ett svängande mål. Här framgår att de vita fälten, som representerar områden i vilka en missil har lätt att nå målet, krymper

kraftigt. I synnerhet har områdena där look-up krävs växt kraftigt, beroende på att målet annars göms i markklotret.



2. 4. MLE-baserad visualisering

För att i ett flygplan visualisera de förhållanden som diskuterades i föregående avsnittet används vanligen en grafisk display. För varje mål kan då visas antingen en offensiv eller defensiv markering (skjutzon), eller både och. Den offensiva bilden visar flygförarens egen skjutförmåga mot sin kombattant (attackmöjligheten), och den defensiva bilden det omvända förhållandet (hotet). Vanligen används MLE-presentationen enbart för det för tillfället farligaste hotet, alternativt det hot (ibland kallad styrororderledaren) som flygföraren bestämmer. Om osäkerhet råder om vilket mål/hot som är farligast eller bör attackeras, måste flygföraren i tur och ordning markera (till exempel med en displaymarkör) alla dessa mål/hot för att beställa fram bilder med skjutzonerna för dem. För varje mål/hot visas en bild enligt figur 1a eller 1b, beroende på om målet går i rakbana eller svänger. Att visa skjutzonerna för många mål samtidigt är omöjligt på grund av den klottrighet som då uppstår i den grafiska bilden, se till exempel figur 6 nedan.

Genom att på detta sätt - sekventiellt - betrakta hot och attackmöjligheter i relation till ett eller flera mål, kan flygföraren försöka avgöra vilket/vilka handlingsalternativ som är bäst för honom/henne, och när i tiden dessa handlingar bör utföras. Detta innebär att han/hon, genom att växelvis betrakta olika bilder, måste komma ihåg och i minnet jämföra dessa samt därur bestämma vilka målrelationer som finns, var de största hoten är, vilka handlingar han/hon bör utföra och vad som kan inträffa i olika handlingsalternativ. Denna ganska tunga hantering med olika grafiska bilder försvårar i någon mån operatörens situationsuppfattning, och motiverar andra presentationssätt, till exempel temporaldisplay. Om enbart den MLE-baserade displayen finns tillgänglig utgör den en väsentlig del av den situationsbeskrivning som tillhandahålles för operatören/föraren.

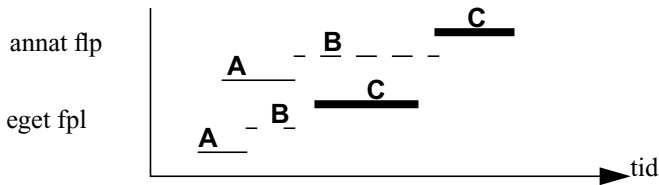
Denna händelseprediktion utgör en av situationsuppfattningens elementära delar. Föraren har här hjälpmedel för att utföra de två första momenten (datainsamling och objektbestämning) medan han/hon själv måste göra prediktionen. Tidpunkten för när en handling så småningom bör utföras grundas på hur han/hon bedömer och kan

utnyttja och sammanställa den information han/hon har om hastigheter, höjder, räckvidd och andra vapenprestanda samt de vapenbärande flygplanens prestanda i relation till eget flygplans prestanda. Eftersom dessa bedömningar måste utföras under stark stress och tidsnöd, blir de sannolikt mycket enkla och schablonartade, om de alls utförs. Bedömningarna är dessutom relativt komplexa och krångliga. Noviser har svårare än experter att hinna med dem.

2. 5. Temporaldisplay

Som framgår av föregående avsnitt är MLE-baserad visualisering förknippad med vissa hanteringssvårigheter; operatören kan bara betrakta hotet från ett flygplan i taget. Ett skäl är att hoten inte är proportionella mot avstånden från målen. Andra faktorer som påverkar graden av hot är höjd, fart, svängförmåga, vapenräckvidd och accelerationskraft hos varje potentiellt hotfullt flygplan i omvärlden. Dessa faktorer syns inte i MLE-baserad visualisering. Detta innebär att exempelvis ett avlägset liggande flygplan kan vara mera hotfullt än ett mera näraliggande. Spatialt baserade bilder är därför alltid ofullkomliga. I en duell måste dessutom operatören/föraren väga samman dessa data och jämföra med motsvarande från hans/hennes egna flygplan. Först därefter kan han/hon egentligen bedöma läget och fatta rätt beslut, till exempel fly, avvakta, attackera, eller öka hastigheten. Eftersom de beräkningar som behövs är mycket komplexa är behovet av beslutsstöd i detta avseende mycket stort. FOI har under flera år arbetat med alternativa sätt att stödja plattformsoperatören i detta avseende. Temporaldisplayen är ett resultat av detta arbete.

Temporaldisplayen använder tiden i stället för avståndet som det grundläggande dimensionen. Effekten av de aktioner som en plattformsoperatör kan utföra varierar nämligen med tiden. En grundläggande idé i FOIs arbete har varit att presentera en tidslinje för den intressanta framtiden, och utefter denna tidslinje visa effekten av olika aktioner som olika operatörer kan utföra, se figur 2 samt Pettersson et al (1999) och Pettersson (2000).



Figur 2. Varje aktion kan utföras under viss tid. Olika flygplan kan utföra samma mängd aktioner. Tidsintervallen illustrerar de tider när en aktion kan utföras, se exempel i texten.

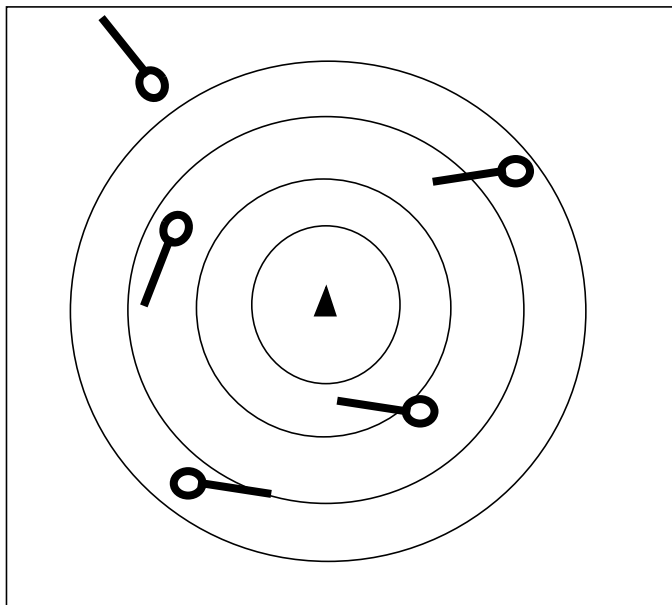
Denna presentationsform kan emellertid inte användas i en cockpit. För varje flygplan i omvärlden finns det fem till sex olika intressanta aktioner att visa, och i en duellsituation blir det dubbelt så många. Om flera flygplan kan agera, växer antalet aktioner mycket snabbt, och bilden blir oöverblickbar.

Frågan uppstod om hur denna stora informationsmängd bäst kunde hanteras. Ett sätt var att presentera enbart delar av den för flygföraren, ett annat sätt var att tillvarata den för andra ändamål (till exempel automatisk manövergenerering). Flera olika idéer prövades för att extrahera viktiga delar i en display. Ett resultat är temporaldisplayen i den form den visas i denna rapport.

Den temporala displayen (eller hotdisplayen) visar i en samlad bild alla mål, samt deras offensiva och/eller defensiva värde i nuläget. Varje hot/mål tilldelas ett hotvärde och/ eller attackvärde, och dessa värden visualiseras i en display.

Figur 3 visar temporaldisplayen i ett givet scenario. Det egna flygplanet befinner sig i centrum. De olika ringarna representerar olika hotzoner respektive egna handlingsmöjligheter. Sett utifrån och inåt representerar cirkulära head-on-skjutgränsen, yttre skjutgräns, undanmanövergräns och inre skjutgräns, innanför vilken missilens tändare ej kan utlösas.

Den bakomliggande formelapparaten presenteras i appendix 1.



Figur 3. Grafisk representation av hotbilden omformad till tid. Här har objektens flygriktning markerats.

Head-on-skjutgränsen representerar den hotnivå innanför vilken en missil kan nå målet om både det vapenbärande flygplanet och målet styrs mot varandra. Motsvarande action är att avlossa en missil i head-on-läge.

Den yttre skjutgränsen representerar den hotnivå innanför vilken en missil kan nå målet om båda aktörerna håller konstant fart, höjd och kurs. Motsvarande action är att avlossa en missil och behålla kurs, höjd och fart.

Undanmanöver-X-gränsen representerar den hotnivå innanför vilken den beskjutne inte kan fly givet att det kan svänga med maximalt X g.

Placeringen av hoten i skjutzonerna beror på vilka aktioner vapenbäraren respektive målet kan göra, närmare bestämt huruvida det är möjligt för en vapenbärare att i nuläget avlossa en missil som kan träffa målet i någon nära framtid. Därvid kan läget sammanfattas i följande typsituationer: (Observera att "jaget" både kan vara vapenbärare och mål).

A. Om vapenbäraren kan träffa målet genom att 1. den avlossar en missil i nuläget och 2. både den och målet styrs head-on mot varandra, visas den innanför temporaldisplayens head-on-skjutgräns.

B. Om vapenbäraren kan träffa målet genom att 1. den avlossar en missil i nuläget och 2. både den och målet styrs med konstant kurs, fart och höjd, visas den innanför temporaldisplayens yttre skjutgräns.

C. Om vapenbäraren kan träffa målet genom att 1. den avlossar en missil i nuläget och 2. målet inte kan svänga undan tillräckligt skarpt, visas den innanför temporaldisplayens undanmanöver-X-gräns. $X = 3, 6$ eller 9 .

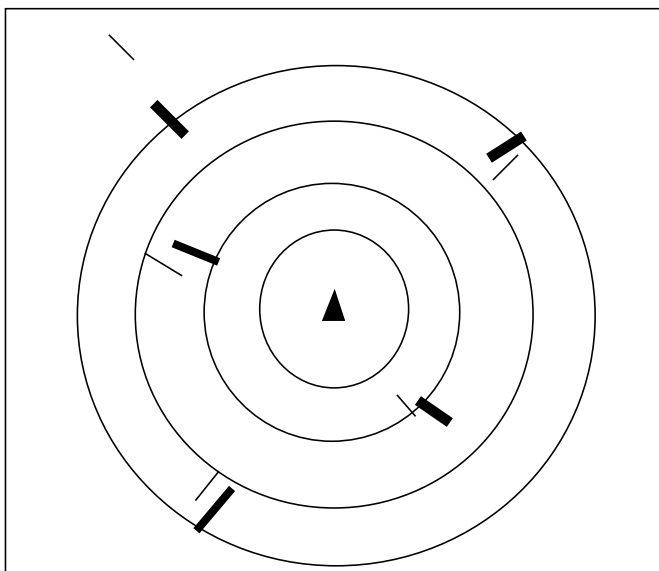
D. Om vapenbäraren är alltför nära målet för att hans/hennes missil, om den avlossades i nuläget, säkert skulle träffa målet, visas den innanför temporaldisplayens inre skjutgräns.

En vapenbärares närhet till den närmast inre liggande cirkeln i hotdisplayen representerar den kortaste tiden fram till den gräns som cirkeln representerar. Hotets flygriktning kan eventuellt visas, se figur 3.

Den i punkterna A-D beskrivna placeringen gäller vapenbärarens aktionsmöjligheter mot målet. Om målet avser det egna flygplanet ("jag"), handlar det om den defensiva varianten av temporaldisplayen. Då det är det egna flygplanet ("jag") som är vapenbärare,

handlar det om den offensiva varianten. I figur 4 har både den defensiva och offensiva varianten kombinerats genom att feta och tunna linjer representerar defensiv respektive offensiv information.

Skillnaden mellan det egna flygplanets och motståndarens träffförmåga kan avgöra stridens utgång, och kunskap (=information) om det egna flygplanets respektive motståndarens skjutförmåga är i högsta grad avgörande för vilket beslut flygföraren bör fatta, det vill säga om han/hon ska fly eller fäkta/skjuta. Temporaldisplayen visualiserar direkt denna information.



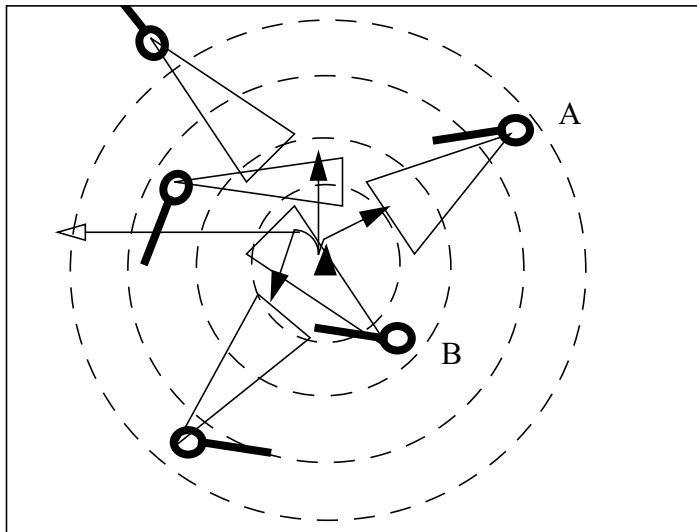
Figur 4. Defensiv och offensiv bild av situationen. Osäkerheten visas i form av linjer. Feta och tunna linjer representerar defensiv respektive offensiv information.

De grundläggande skillnaderna gentemot den MLE-baserade visualiseringen är dessa:

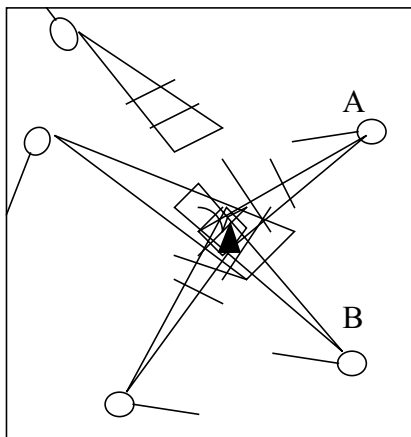
- Alla mål/hot presenteras samtidigt i temporaldisplayen medan den MLE-baserade displayen i varje ögonblick endast kan visa relationen till ett enda hot/mål.
- Jämförelsen mellan hot och egen aktionsförmåga är tydligare i temporaldisplayen än i spatialdisplayen.
- Tidpunkten/tidsintervallen för när olika händelser och handlingar kan utföras indikeras enbart i temporaldisplayen.
- De geometriska förhållandena visas i spatialdisplayen men ej i temporaldisplayen.

Om både skjutzoner och hotzoner projicerades tillsammans i en temporalt orienterad bild (där målens avstånd från mig beror på handlingsförmåga, det vill säga skjutmöjlighet) skulle den kunna se ut som i figur 5. Om en spatialorienterad bild (målets avstånd beror enbart på avståndet projicerat på horisontalplanet) användes skulle den kunna se ut som i figur 6. Observera att den relativa avståndet från mittpunkten till de olika målen skiljer sig åt i figurerna 5 respektive 6. Figurerna innehåller enbart den defensiva informationen, se figur 3. Displayer enligt figurerna 5 och 6 är visuellt svårtolkade.

Det förhållande att de geometriska förhållandena inte presenteras i temporaldisplayen innebär att den spatialt baserade bilden alltid måste visas.



Figur 5. Temporaldisplayen kompletterad med skjutzoner såsom de skall se ut i respektive hotzon. Egna flygbanor inritade. Öppen pil visar flyktbana, slutna pilar anfallsbanor.



Figur 6. Spatial representation av hotbilden. Observera att det spatiella avståndet inte visas i temporaldisplayen. Bilden är avsiktligt svårtolkad.

Att B är farligare än A visas tydligt enbart i figur 5.

2. 6. Funktion med och utan StriC

Förmågan att prediktera framtida möjliga aktioner beror bland annat på antaganden eller kännedom om prestanda hos fiendlig vapenplattform och missil. Dessa prestanda kan lättare uppskattas om hotets typ är känd; annars måste prestandaberäkningarna baseras på antaganden. I avsaknad av temporaldisplay lämnas operatören att göra sådana uppskattningar; om temporaldisplayen ingår görs de maskinellt. I båda fallen kan uppgifter om måltyp (hottyp) antingen hämtas via länk från StriC eller beräknas från sensordata ombord. I det fall att StriC-data ej är tillgängliga ökar behoven av målklassificering i plattformen. Antingen måste plattformsoperatören/flygföraren själv utföra dem (dagens situation) eller också används en maskinell metod för detta, se kapitel 3 nedan.

2. 7. Realisering med Datafusionsnod

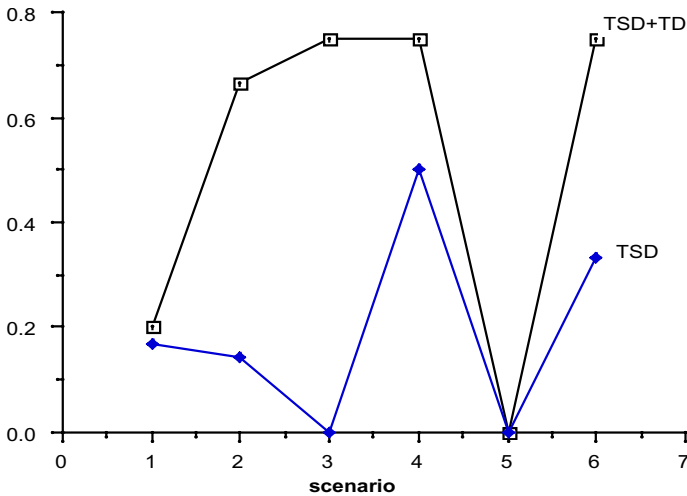
Temporaldisplayen har implementerats i flera simulatorer på SAAB AB, se t ex Linde et al (2000), samt i flera FOI-interna simulatorer, se t ex Strömberg et al (2000).

2. 8. Utvärdering av temporaldisplayen

För att kunna bedöma effekterna av en defensiv variant av temporaldisplayen i jaktstrid gjordes en serie utvärderingar, se Linde et al (2000). Försöket omfattade sex olika jaktstridsscenarior med vardera två testpiloter i roteflygning. Varje försöksperson hade båda befattningarna (roteledare och wingman), och antalet försök blev därför 12. Vid försöket användes det sk FOX-systemet på SAAB AB, där också det sk TACSI-systemet ingår. I scenariorna varierade motståndet mellan sex och tolv missilförsedda jaktflygplan i formation. Varje scenario kördes en gång med och en gång utan temporaldisplay. Data som insamlades var dels objektiva resultat (antal avlossade skott, antal träffar, tidsåtgång, ögonrörelser), dels subjektiva utsagor från testflygarna under och efter försöket. Insamlade data analyserades statistiskt.

Sammanfattningsvis visade utvärderingen att temporaldisplayen medförde en viss ökning av kill-rate, och en stor ökning i precision,

se tabell 1 och figur 7. Precisionen är kvoten av antalet träffar med missil och antalet avskjutna missiler. I försöket användes enbart en defensiv variant av temporaldisplayen, dvs enbart motståndarens handlingsmöjligheter presenteras. Trots detta ökar den egna precisionen avsevärt, från 0.19 till 0.52. Figur 7 och tabell 1 är hämtade från Linde et al (2000). TSD står för spatialdisplay (Tactical Spatial Display) och TD står för hotdisplay.(Threat Display).



Figur 7. Grafisk presentation av utvärderingsresultat. I x-led visas scenarior (runs), i Y-led precision. TSD = spatialdisplay. TD = hotdisplay.

Använda displayer	$M_{\text{träffar/löpa}}$	$M_{\text{skott /löpa}}$	$M_{\text{precision/löpa}}$
TSD	1.17	5.5	.19
TSD+TD	2.0	4.17	.52

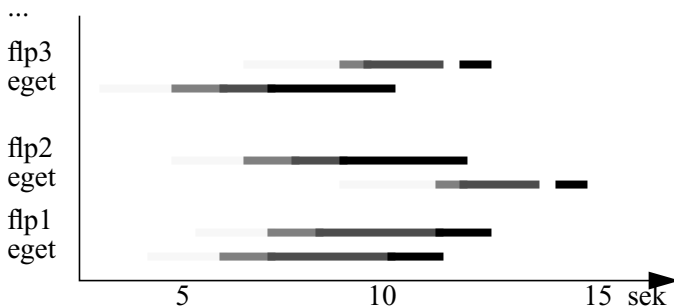
Tabell 1. Precisionen ökade då temporaldisplayen användes.

2. 9. Mer temporal information

Temporaldisplayen enligt figurerna 3 och 4 visar inte all tillgänglig temporal information. En mer utförlig temporal display visas i figur 8. Denna innehåller för varje annat flygplan dess åtgärdsalternativ vad beträffar vapenverkan. Dessutom kan den kompletteras med presentation av tidsintervall då vissa intressanta handlingskombinationer är möjliga respektive omöjliga. Exempelvis kan den visa under vilket tidsintervall som enbart det egna flygplanet har ett annat inom säker skjutgräns. Displayen visar alltså det totala hotläget.

Denna display kan också användas för att visa hur hotläget skulle se ut ifall "jag" utförde en viss manöver, till exempel ökade höjd med 1000m, eller vilken åtgärd "jag" skulle behöva utföra för att se till att "jag", men inte någon kontrahent fick alla motståndarna inom säker skjutgräns. Detta skulle kunna användas för att planera bästa manöver.

Problemet med denna display är att den antas vara svårtolkad för en flygförare på grund av att den innehåller mycket information, och kräver viss interaktion för att pröva utfallet av olika åtgärder.



Figur 8. Temporalt komplett information om övriga flygplan. Varje handlingsmöjlighet indikeras med viss markering. Det framgår t ex att 'eget' har överläge över 'flp1' och 'flp3'.

3. Målklassificering

En viktig delkomponent i det övervakningssystem som beskriver omvärlden är *målklassificering*, som säger något om målets tillhörighet. Målklassificeringen kan indikera om målet utgör ett hot eller ej för den egna plattformen. Det kan t ex handla om att skilja mellan fiendens plattformar, egna plattformar och neutrala plattformar. Med hjälp av denna information kan övervakningssystemet utgöra ett bättre beslutsstöd för plattformoperatören. Utfallet av målklassificeringen påverkar också de beslut som tas på högre systemnivå, t ex policyn för sensorstyrning och situationsbestämning. Den utgör också ett underlag för temporaldisplayen (se avsnitt 2.5) som med täta mellanrum beräknar vilken position de olika målen har i 'hotrummet'.

Målklassificering av t ex flygplan kan baseras på höjd, hastighet, acceleration, radaravbildning och signalspaning. Höjd, hastighet och acceleration visar hur föremålet rör sig i luftrummet och kan berätta något om dess rörelsemönster och prestanda. En radaravbildning kan berätta något om flygplanets geometri och signalspaningen kan säga något om vilken typ av radarutrustning flygplanet är försedd med.

Vi har här begränsat oss till beskrivningen av sådan målklassificering som bygger på enbart kinematiska data. Orsaken till detta är att trefaldig: För det första finns det i dessa data en grund för målklassificering som vanligtvis inte utnyttjas. För det andra finns dessa data till hög kvalitet lätt tillgängliga i målsparföljningen. För det tredje är andra metoder, till exempel signalspaning och signaturanalys, beroende av bibliotek och andra informationsslag vars samband med målklassificering finns beskrivna i andra rapporter från FOI (se t ex Åkermark (1989)).

Det finns en mängd olika matematiska metoder med vars hjälp man kan dra slutsatser från osäkra data (se Blackman et al (1999)). Några exempel på metoder är Bayes' sats, Maximum Likelihood (*ML*), Dempster-Shafer, fuzzy logic och neurala nätverk. De tre förstnämnda är exempel på normativa metoder där å priori kunskap har

stor betydelse. De två sistnämnda är exempel på deskriptiva metoder som istället baseras på erfarenhetskunskaper. Deskriptiva metoder försöker efterlikna en människas sätt att ta beslut. Exempel på arbeten som gjorts både med normativa och deskriptiva metoder inom området för målklassificering är Caromicoli et al (1989), Wigren (1997), Bastière (1998) och Hou et al (2000).

I avsnitten 3.1 t o m 3.4 presenterar vi ett förslag till modell för målklassificering av flygplan. Modellen baseras på *ML*-metoden och diskreta, dolda Markovmodeller av första ordningen. I ett enkelt konstruerat exempel visar vi hur modellen kan tillämpas för målklassificering av olika kategorier av flygplan såsom jaktflygplan, spaningsflygplan, transportflygplan, helikopter och sportflygplan.

En dold Markovmodell är en stokastisk modell som baseras på à priori kunskap om sannolikheter för dels tillstånd, dels observationer. Teorin för dolda Markovmodeller presenterades först på 60-talet och har sedan tillämpats främst inom områden som tal- och bildigenkänning. Det finns också några tillämpningar inom området för målklassificering, se t ex Bharadwaj et al (2001).

3. 1. Dolda Markovmodeller

En dold Markovmodell λ definieras av följande parametrar (Rabiner 1989):

$$\lambda = (A, B, \pi)$$

$$A = \{a_{ij}\} \quad I \leq i \leq N$$

$$B = \{b_j(k)\} \quad I \leq j \leq N$$

$$\pi = \{\pi_i\} \quad I \leq k \leq M$$

Där A beskriver sannolikheter för att flygplanet vid nästa mättillfälle har bytt från tillstånd i till j , alternativt blivit kvar i samma tillstånd (N = antal tillstånd; varje tillstånd kan definieras såsom ett visst röre-

lesebeteende hos flygplanet). B beskriver sannolikheter för att erhålla vissa fördefinierade observationer k i varje tillstånd j ($M =$ antal observationer). Slutligen π beskriver tillståndens sannolikhetsfördelning initialt.

Målklassificeringsmodellen består i detta exempel av ett bibliotek av Markovmodeller λ_n , där varje λ_n definierar ett sannolikt rörelsemönstret hos en specifik flygplanskategori. En given mätsekvens $O = O_1, O_2, \dots, O_t$ jämförs med var och en av λ_n med hjälp av ML -metoden och man beräknar den betingade sannolikheten för att mätsekvensen kommer från just λ_n , d v s

$$ML_n = P(O_1, O_2, \dots, O_t | \lambda_n)$$

Det λ_n som ger det högsta likelihoodvärdet motsvarar den flygplanskategori som det är mest troligt att mätsekvensen kommer ifrån, d v s man söker den flygplanskategori för vilken $ML_n = ML_{max}$.

3. 2. Beräkningsprocedur

I detta avsnitt beskrivs några av de viktigaste stegen i beräkningsproceduren (Rabiner (1989)).

Beräkningen genomförs genom att introducera $\alpha_t(i)$ ¹, som definieras enligt följande:

$$\alpha_t(i) = P(O_1 O_2 \dots O_t, q_t = S_i | \lambda)$$

där $q_t = S_i$ betecknar tillståndet vid tidpunkt t . Ekvationen beskriver alltså sannolikheten att erhålla mätsekvensen $O = O_1 O_2 \dots O_t$ vid ett tillstånd S_i under förutsättning att målet tillhör λ . Ett α -värde beräknas för var och en av observationerna. Det första α -värdet beräknas med de antagna initiala värdena π enligt följande:

1. *Forward algorithm* i engelsk litteratur.

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(O_1) \quad 1 \leq i \leq N$$

För övriga observationer, t o m den sista, beräknas α -värdena enligt följande:

$$\alpha_{t+1}(j) = \left[\sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right] b_j(O_{t+1}) \quad 1 \leq t \leq T-1 \quad 1 \leq j \leq N$$

Resultatet från föregående tidpunkt, d v s α_t , multipliceras i ekvationen ovan med sannolikheterna a_{ij} . Detta beskriver byte från möjliga tillstånd i , vid tidpunkt t , till tillstånd j , vid tidpunkt $t+1$. På detta sätt överförs information från t till $t+1$ i enlighet med en första ordningens Markovmodell. Det slutliga resultatet erhålls genom att summera α_T för de olika ingående tillstånden, d v s:

$$P(O | \lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i)$$

Under beräkningsprocedurens gång sker ett flertal multiplikationer med sannolikheter, vilket ofta leder till att det slutliga resultatet hamnar mycket nära 0. Problem uppstår då resultatet blir mindre än det minsta tal som datorn kan representera. För att undvika detta problem introduceras skalfaktorn c_t , som beräknas enligt följande:

$$c_t = \frac{1}{N \sum_{i=1}^N \alpha_t(i)}$$

Följande egenskap kan sedan utnyttjas:

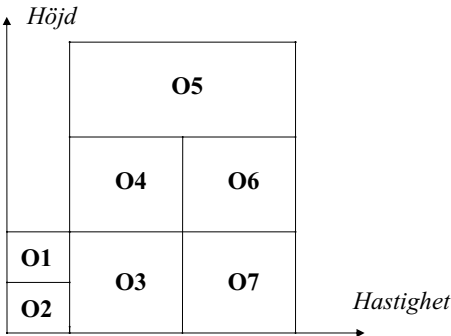
$$\prod_{t=1}^T c_t \sum_{i=1}^N \alpha_T(i) = 1$$

vilket leder till den ekvationen som ger det slutliga resultatet:

$$\log[P(O | \lambda)] = - \sum_{t=1}^T \log c_t$$

3. 3. Att särskilja olika kategorier av flygande mål

Figur 9 visar ett exempel på ett observationsdiagram som kan användas för att definiera observationssannolikheterna $B = \{b_j(k)\}$. Observationsdiagrammet beskriver möjliga observationer till de aktuella flygplanskategorierna. Varje flygplanskategori kan antas under en flygning befinna sig i ett eller flera observationsområden med olika sannolikheter. Vanligtvis kan flera flygplanskategorier ge observationer från samma observationsområden och det kan därmed vara svårt att skilja dem åt. Ofta har dock olika kategorier olika observationssannolikheter i det gemensamma observationsområdet. Slutresultatet beror också på vad som hänt vid tidpunkten innan (vilken observation som var aktuell då) samt benägenheten hos varje flygplanskategori att byta, alternativt inte byta tillstånd mellan två tidpunkter.



Figur 9. Observationer uppdelade i höjd- och hastighetsintervaller .

3. 4. Ett exempel

Antag att man vill kunna skilja mellan fem kategorier av flygplan: jaktflygplan, spaningsflygplan, transportflygplan, helikopter samt sportflygplan. Vilka är då de huvudsakliga skillnaderna i deras flygbanor? Jaktflygplanet och spaningsflygplanet kan ofta vara samma slags flygplan. Det som skiljer dem åt är själva uppdragen, som uppvisar olika rörelsemönster. Jaktflygplanet kan skifta tillstånd relativt ofta samt röra sig över en relativt stor del av observationsdiagrammet. Spaningsflygplanet flyger antingen på mycket låg höjd eller mycket hög höjd. Transportflygplanet flyger i sin fastställda bana och byter tillstånd relativt sällan. Helikoptern flyger på låg höjd, med relativt låg fart. Sportflygplanet flyger på låg höjd med låg fart.

Vissa kategorier av flygplan kan det vara svårare att skilja åt. Flygplanen kan uppvisa samma rörelsemönster trots att de har egenskaper som gör att de vid speciella tillfällen befinner sig i ytterkanterna av observationsdiagrammet. Jaktflygplanet och spaningsflygplanet skulle kunna uppvisa samma rörelsemönster. De skulle dessutom kunna flyga i en bana liknande transportflygplanets bana, i en hastighet som också är typisk för ett transportflygplan.

Antag i detta exempel att $N = 2$ och $M = 7$, där $N =$ antalet tillstånd och $M =$ antal observationsområden. Det ena tillståndet motsvarar en rörelse i en rak bana och det andra en rörelse som på något sätt avviker från en rak bana. Observationsområdena beskrivs i figur 9.

Antag också att man erhåller en mätsekvens som under en viss tidsperiod beskriver följande flygbana: låg höjd och relativt låg fart ($O3$), låg höjd och högre fart ($O7$) samt högre höjd och något lägre fart ($O4$). Vilken flygplanskategori är det mest troligt att mätsekvenserna beskriver? Nedan presenteras de indata som har antagits i det förenklade exemplet. I tabell 2 visas observationssannolikheterna för de båda tillstånden. Observationerna $O1 - O7$ representeras av hastighets- och höj dintervallen i figur 9.

Tabell 2. Sannolikhetsfördelning över observationer för de två tillstånden S_1 och S_2 .

Kategori	$O1$	$O2$	$O3$	$O4$	$O5$	$O6$	$O7$	Σ
Jakt								
S_1				0,25	0,25	0,25	0,25	1,00
S_2			0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00
Spaning								
S_1			0,40	0,06	0,40	0,06	0,08	1,00
S_2			0,10	0,35	0,10	0,35	0,10	1,00
Transport								
S_1				0,45	0,10	0,45		1,00
S_2			0,40	0,06	0,08	0,40	0,06	1,00
Helikopter								
S_1	0,40	0,30	0,30					1,00
S_2	0,30	0,60	0,10					1,00
Sportflyg								
S_1	0,60	0,40						1,00
S_2	0,40	0,60						1,00

Övergångssannolikheter a_{ij} för att byta tillstånd eller inte byta tillstånd redovisas nedan.

$$A_{jaktflyg} = \left[\begin{array}{c|cc} & S_1 & S_2 \\ \hline S_1 & 0,6 & 0,4 \\ S_2 & 0,6 & 0,4 \end{array} \right] \quad A_{spaning} = \left[\begin{array}{c|cc} & S_1 & S_2 \\ \hline S_1 & 0,9 & 0,1 \\ S_2 & 0,9 & 0,1 \end{array} \right]$$

$$A_{transport} = \left[\begin{array}{c|cc} & S_1 & S_2 \\ \hline S_1 & 0,8 & 0,2 \\ S_2 & 0,2 & 0,8 \end{array} \right],$$

$$A_{helikopter} = \left[\begin{array}{c|cc} & S_1 & S_2 \\ \hline S_1 & 0,6 & 0,4 \\ S_2 & 0,6 & 0,4 \end{array} \right] \quad A_{sportflyg} = \left[\begin{array}{c|cc} & S_1 & S_2 \\ \hline S_1 & 0,5 & 0,5 \\ S_2 & 0,5 & 0,5 \end{array} \right]$$

Tillståndens initialvärden π_i har antagits till följande värden:

$$\pi_{jaktflyg} = \left[\begin{array}{c|c} & \pi_i \\ \hline S_1 & 0,6 \\ S_2 & 0,4 \end{array} \right] \quad \pi_{spaning} = \left[\begin{array}{c|c} & \pi_i \\ \hline S_1 & 0,9 \\ S_2 & 0,1 \end{array} \right] \quad \pi_{transport} = \left[\begin{array}{c|c} & \pi_i \\ \hline S_1 & 0,8 \\ S_2 & 0,2 \end{array} \right]$$

$$\pi_{helikopter} = \left[\begin{array}{c|c} & \pi_i \\ \hline S_1 & 0,6 \\ S_2 & 0,4 \end{array} \right] \quad \pi_{sportflyg} = \left[\begin{array}{c|c} & \pi_i \\ \hline S_1 & 0,5 \\ S_2 & 0,5 \end{array} \right]$$

Resultatet av beräkningarna presenteras i Tabell 2. Av resultatet framgår att det är mest troligt att mätsekvenserna beskriver ett jaktflygplan, eftersom $ML_{max} = ML_{jaktflyg}$. Spaningsflygplanet och transportflygplanet kommer härnäst och ligger relativt nära ML_{max} . Sedan är det ett stort steg till helikoptern och sportflygplanet och det är därför mindre troligt att mätsekvensen beskriver något av dessa alternativ.

Modellen gör alltså en grov klassificering m a p flygplanskategorier. Man erhåller en rangordning på de olika kategoriernas trolighet för en given mätsekvens. Ett sätt att använda resultatet är för uteslutande av flygplanskategorier. I exemplet ovan skulle man kunna utesluta helikopter och sportflygplan. Målklassificeringen med de tre övriga hypoteserna bör fortsätta för att se om någon av kategorierna längre fram i tiden kan framträda mer än någon annan. En sådan situation uppstår om målet skulle röra sig mot en av ytterkanterna i observationsdiagrammet

Tabell 3. Likelihood-värden¹ som beskriver jämförelser mellan mätsekvens och modellbibliotek.

Typ av flygplan	ML_n (-log likelihood)	Kommentar
Jaktflyg	-89	Mätsekvens passar <i>bäst</i> med $\lambda_{jaktflyg}$.
Spaningsflyg	-101	Passar ganska <i>bra</i> med $\lambda_{spaning}$.
Transportflygplan	-124	Passar mindre bra med $\lambda_{transport}$.
Helikopter	-345	Passar <i>inte</i> med $\lambda_{helikopter}$.
Sportflygplan	-460	Passar <i>inte alls</i> med $\lambda_{sportflyg}$.

1. Beräkningarna har genomförts med Matlab.

4. Kognitiv Systemdesign

4. 1. Sammanfattning

Temporaldisplayen är utvecklad med pragmatiska metoder. Det innebär att kunskaper och erfarenheter inom kinematik, avioniksystem och olika sorters matematik med mera har varit tongivande faktorer under konstruktionen. Den är dock inte baserad på någon enhetlig humanvetenskaplig teori. Varje utvecklat människa-maskin-system bygger dock på begreppsbildning och teori för operatör-maskin-samverkan.

Kognitiv systemdesign, CSE, Hollnagel et al (1983) är ett forskningsfält som kan råda bot på denna brist. Det är ett tekniskt-filosofisk forskningsområde som erbjuder en koherent syn på analys, design, utveckling av komplexa man-maskin system. Konceptet går utöver traditionell humanvetenskaplig forskning och traditionell MMI-forskning. Grundläggande inom CSE är hur tänkandet påverkas av miljön och förändringar i miljön. Kognitiv systemdesign fokuserar på det sammansatta man-maskin systemet, istället för på interaktionen mellan människan och maskinen. CSE kan delvis ses som en länk mellan humanvetenskaplig forskning och teknisk systemutveckling. Detta kapitel avser att ge en introduktion till området.

Sammanfattningsvis kan det sägas att CSE:

- syftar till att utveckla språk, metoder och redskap för användning vid design av effektiva beslutsstödsystem, där risken för felaktiga handlingar reduceras.
- tillåter beskrivningar om hur artefakter dvs. föremål, system, processer mm i omvärlden påverkar en beslutsfattarens sätt att tänka.
- erbjuder ett språk för beskrivning som är värdeneutralt.
- tar hänsyn till den intention och anpassningsförmåga som definierar mänskligt tänkande och agerande.
- tillhandahåller en konsistent grund för design och analys av komplexa system.
- har prövats i flera tillämpningar.

4. 2. Bakgrund

Bakgrunden till framväxten av CSE som forskningsområde står att finna ett flertal orsaker. Här kan nämnas den växande teknologiska komplexiteten, vilken ställer högre krav på operatörer och högre krav på effektivitet. Detta gäller såväl taktisk/teknisk effektivitet, t ex i form av situationsuppfattning och hotbedömning, som ekonomisk effektivitet i form av resursutnyttjande.

En annan orsak till bakgrunden av CSE var den växande insikten av behovet av ett gemensamt språk för att beskriva man-maskin interaktion, MMI, och behovet av metaforer för tankeprocesser och tankeutbyte. Den vetenskapliga bakgrunden har rötter från 1940-talet, bl a ur kontrollteori, cybernetik samt influenser från industriell och kognitiv psykologi, ergonomi och informationsteori. Det var synen på teknologin som förstärkare samt behovet av ökad automation, som ytterligare motiverade tillkomsten av CSE.

4. 3. Grunder

CSE kan beskrivas på ett flertal sätt. Grundläggande är att studera eller behandla det sammansatta kognitiva systemet, operatör och teknik, samt system av system.

Viktiga grunder är att kognition eller tänkande påverkas av kontexten/situationen. Vidare är s k målmedelsuppgiftsanalys grundläggande i konceptet och används för att extrahera kunskap om miljö- och funktionsvillkor för system samt för att analysera krav och möjligheter att styra och hantera systemen. Målmedelsuppgiftsanalys kan användas inför och under designprocessen av ett planerat system. CSE underlättar lösning och hantering av problem rörande komplexitet och informationsöverblastning. CSE förespråkar en funktionsinriktad arkitektur och design. Andra grundläggande aspekter, vilka beaktas eller understöds inom CSE, är att stödja och vidmakthålla förmågan att tänka, påverka och styra, samt att skapa verktyg för hantering och modellering av automation och adaptation.

4. 4. Kognition och styrning

Inom CSE är kognition nära kopplat till styrning, dvs hur tänkandet växelverkar med det system som manövreras eller som ska styras. Tidsfaktorn är en viktig komponent att ta hänsyn till, eftersom CSE fokuserar på dynamiska händelseförlopp där åtgärder, tänkande och den process som övervakas/styrs hela tiden förändras. Tänkande och utförande av åtgärder tar också i sig tid. CSE tar också hänsyn till att gränssnitten mot de system som ska kontrolleras medger att önskad styrning kan utföras. Inom CSE är det viktigt att göra mätningar som grund för modellering och att utvärdera det sammansatta människamaskinsystemet.

Kontextuella styrmodeller, (COntextual COntrol Models – COCOM), Hollnagel (2002), beskriver hur aktionssekvenser byggs upp. Aktionssekvenserna behöver ej vara fördefinierade. Styrmodeller kan vara artikulerade/uttalade modeller eller allmänna modeller (folk models).

Kognitionen kan vara fångad, styrd, associerad eller fri. Fångad respektive fri kognition är två ytterligheter, där fångad betyder att operatören är helt upptagen och fokuserad på en enda uppgift och har stängt av förmågan att ta emot andra inkommande signaler. Vid fri kognition gäller det motsatta förhållande: operatören har situationen under kontroll och har förmåga tänka, styra och kontrollera händelseförloppet. Styr och associerad kognition beskriver olika grader av fokusering och engagemang för den styrning som ska utföras.

CSE indelar styrning i fyra nivåer:

- Strategisk styrning är väl planerad och organiserad och utförd med hög tillförlitlighet.
- Taktisk styrning är väl utförd styrning med begränsad planering och med god tillförlitlighet.
- Opportunistisk styrning är dåligt organiserad, har låg grad av planering och begränsad möjlighet till framgång.
- Oorganiserad, panikartad styrning är karakteriserat av splittrat utförande och hög risk för felhandlingar.

Ofta används cykliska modeller för att beskriva det sammansatta systemet Hollnagel (2002). I dessa ingår komponenter som:

Aktuell uppfattning som styr och påverkar val av *nästa åtgärd* som producerar *information som återkopplas* och på nytt modifierar *aktuell uppfattning* som styr val av, osv.

Operatören och det tekniska systemet kan också befinna sig i olika moder. CSE ger möjlighet att beskriva beroenden mellan olika styrmoder.

Kognition uppstår och påverkas av situationen eller kontexten och val av nästa åtgärd är till största delen bestämd av den föreliggande kontexten.

4. 5. Hantering av komplexitet och informationsöverbastning

Designen av operatörsarbetsplatser bör riktas mot att understödja operatörens förmåga att hantera komplexiteten, inte att ta bort komplexiteten. CSE förespråkar att specialfall och speciallösningar bör undvikas och att generella lösningar måste säkerställas. Design- och systemmål riktas mot enkelhet och stöd för att hantera komplexitetsproblem. Strategier för hantering av överbastning eller understimulans är fundamentalt inom CSE. Tidsaspekten måste det tas hänsyn till vid systemutformning eftersom, 1) det tar tid att tolka, välja åtgärd och agera, 2) åtgärder ofta kan utföras under ett tidsintervall. Stora mängder sensordata och annan information, multiagent scenarier, bidrar till hög komplexitet i vissa kontexter och situationer. Det motsatta kan också inträffa, dvs. en understimulans som uppstår på grund av att systemet inte genererar någon information alls, eller åtminstone inte i förväntad omfattning. Detta tas hänsyn till inom CSE.

4. 6. Vidmakthållande av förmågan att tänka, påverka och styra

Att ha kontroll över en situation innebär att ha beredskap för vad som kan hända och att veta vad som har hänt. Orsaker till att kontrollen över styrningen förloras står ofta att finna i orsaker som oväntade händelser, akut tidspress i beslutssituationen, förlorad situationsmedvetenhet, förlorad aktionsförmåga eller bristande resurser.

Förmågan att styra kan bibehållas eller återupprättas genom att planera uppgiften och vara ute i god tid. Det underlättar att veta vad som har hänt, händer och ha en hög och flexibel handlingsberedskap. Ett bra stöd för att tillförlitligt kunna prediktera framtida händelser bidrar till att operatören inte riskerar att tappa kontrollen över situationen. Tydliga handlingsalternativ har en positiv inverkan och medför att tveksamhet kan undvikas vid val av åtgärder. En välavvägd arbetsbelastning som varken orsakar överbelastning eller understimulans, bidrar till upprätthållande av god styr- och kontrollförmåga.

4. 7. Målmedelsanalys

Målmedelsanalys är en metod som används för att analysera och beskriva hur ett system ska designas så att de önskade målen vid användningen av systemen uppnås. Till skillnad mot vanlig uppdragsanalys som i huvudsak fokuserar på vilka uppgifter som ska utföras, samt hur detta ska göras, så är syftet med målmedelsanalys att ta fram riktlinjer för hur systemet ska designas.

4. 8. Funktionsorienterad automation och adaption

Fungerande och väl implementerad automation är ett oeftergivligt krav om uppsatta mål för effektivitet och säkerhet ska kunna uppnås. CSE tillmötesgår detta genom att erbjuda principer och ansatser för funktionsallokering. Implikationer och erfarenheter av dessa ansatser samt kända fallgropar och effekter behandlas inom CSE. För att kunna uppnå erforderlig förmåga att upprätthålla kontroll och styrning samt hantera ökande komplexitet, så behövs system vilka har en allt ökande förmåga till adaption och/eller anpassning. Ett gränssnitt

med goda adaptiva egenskaper kan förbättra matchningen mellan aktuell återkoppling och operatörens förväntningar.

5. Referenser

- * Bastière (1998), Bastière, A., *Methods for Multisensor Classification of Airborne Targets Integrating Evidence Theory*, Aerospace Science and Technology, No. 6, pp. 401-411, 1998.
- * Bharadwaj et al (2001), Bharadwaj, P., Runkle, P., Carin, L., Berrie J., & Hughes, J., *Multiaspect Classification of Airborne Targets via Physics-Based HMMs and Matching Pursuits*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 37, No. 2, April 2001.
- * Blackman et al (1999), Blackman, S., Popoli, R., *Design and Analyses of Modern Tracking Systems*, Artech House, 1999.
- * Caromicoli (1989), Caromicoli, A., *Multitarget Identification in Airborne Surveillance*, SPIE, Aerospace Pattern Recognition, Vol. 1098, pp. 161-176, 1989.
- * Endsley (1995), Endsley, M., *Towards a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems*, Human Factors, 37(1), page 32-64, 1995.
- * Hoc et al (1995), Cacciabue, P.C., Hollnagel, E., (Eds.): *Expertise and Technology: Cognition and human-computer cooperation*, Lawrence Erlbaum Associates, 1995.
- * Hollnagel (2002), Hollnagel, E., *Cognition as control: A pragmatic approach to the modelling of joint systems*, Submitted to IEEE Trans. of Systems, Man and Cybernetics.
- * Hollnagel (2002), Hollnagel, E., *Cognition as control: A pragmatic approach to the modelling of joint cognitive systems*, Submitted to IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics.
- * Hollnagel, et al (1983), Woods, D.D.: *Cognitive Systems Engineering: New Wine in new bottles*, International Journal of Man-Machine studies, 18, 583-600.
- * Hou et al (2000), Hou, P., Wang, X., Shi, X., Lin, L., & Zhang, M., *Target Recognition Using Fuzzy Fusion Classifier*, Proc. of third Int. Conf. Information Fusion, Paris, July 2000.

- * Linde et al (2000), Linde, L., Strömberg, D., Alfredsson, J., Andersson, R.: *Utvärdering av en temporal hotindikator*, FOA-rapport FOA-R--00-01781-706--SE, 2000.
- * Pettersson (1998), Pettersson, G., Strömberg, D., Roldan-Prado, R., *Temporal decision support and datafusion in BVR-combat*, In Proceedings of Eurofusion98, International Conference on Data Fusion, Great Malvern, UK, 6-7 October 1998, page71-76.
- * Pettersson et al (1999), Pettersson, G., Axelson, L., Jensen, T., Karlsson, M., & Malmberg, A., *Multi-source Integration and Temporal Situation Assessment in Air Combat*, In Proceedings from the Conference on Information, Decision & Control, Adelaide, Australien, 2000.
- * Rabiner (1989), Rabiner, L., *A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition*, Proc. of the IEE, Vol. 77, No. 2, February 1989.
- * Strömberg et al (2000), Strömberg, D., Lantz, F., Hörling, P., *En Plattformbaserad Datafusionsnod - Delrapport 1*, FOA-R--00-0176-706--SE, December 2000.
- * Strömberg (2001), Strömberg, D., *Integration och Styrning av Sensorer i Nätverk*, FOI-R--0237-SE, November 2001.
- * Strömberg et al (2002), Strömberg, D., Lantz, F., Andersson, M., *On Platform-Based Sensor Management*, In Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion, July 8-11 2002, Annapolis, Maryland, USA, pp 600-607. FOI-S--0529--SE.
- * Wigren (1997), Wigren, T., *Noncooperative Target Type Identification in Multi-Sensor Tracking*, Proc. of the IRCTR Colloquium on Surveillance Sensor Tracking, Delft, June 1997.

6. Bilaga: Ekvationsunderlag

Formlerna gäller för en generisk radarjaktrobot.

Förkortningar:

rb =robot. T =tid. $T_{svangmal}$ =målets tid att svänga undan.

Räckvidd för radarjaktrobot

$mach$ är 340 m/s vid höjden 0 och avtar med stigande höjd.

$$rackvidd_{rb_{hojdberoende}} = 12000.0 + \min(hojd, 11000.0)$$

$$rackvidd_{rb_{fartberoende}} = 0.3 \times (mach - 0.8) \times rackvidd_{rb_{hojdberoende}}$$

$$rackvidd_{rb_{tot}} = rackvidd_{rb_{hojdberoende}} + rackvidd_{rb_{fartberoende}}$$

Yttre skjutgräns

$$T_{rb} = rackvidd_{rb_{tot}} / V_{rb}$$

$$Yttreskjutgrans = (V_m + V_{rb}) \times T_{rb}$$

$$T_{yttreskjutgrans} = (R_m - Yttreskjutgrans) / V_j$$

Säker skjutgräns

$$Sakerskjutgrans = V_{rb} \times T_{svangmal} + (T_{rb} - T_{svangmal}) \times (V_{rb} - V_m)$$

$$T_{sakerskjutgrans} = (R_m - Sakerskjutgrans) / V_j$$

$$T_{svangmal} = \Pi / \dot{\Psi}_{mal}$$

A-pole (Målsökaren antas öppnas 8 km från målet.)

$$R_{rb_{oppn}} = R_m - 8000.0$$

Undvika strid gräns/ No-escape-gräns

$$V_{jd} = V_{max-alt} - V_j$$

$$T_{acc} = V_{jd} / \dot{V}_{max}$$

$$T_{svang} = \Pi / \dot{\Psi}_j$$

$$T_{undvikastrid} = T_{acc} + T_{svang}$$

$$\dot{\Psi}_j = n_{zsvang} \times G \times \sin(\arccos(1/n_{zsvang})) / V_j$$