

Peter Svenmarck

Förstudie om tänkbara tillämpningar av situationsanpassade system

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem
Box 1165
581 11 Linköping

FOI-R--0836--SE

Mars 2003

ISSN 1650-1942

Underlagsrapport

Peter Svenmarck

Förstudie om tänkbara tillämpningar av situationsanpassade system

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0836--SE	Klassificering Underlagsrapport
	Forskningsområde 8. Människan i totalförsvaret	
	Månad, år Mars 2003	Projektnummer E7826
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 81 MSI med fysiologi	
Författare/redaktör Peter Svenmarck	Projektledare Peter Svenmarck	
	Godkänd av Erland Svensson, institutionschef	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvaretsmaterielverk (FMV)	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Peter Svenmarck	
Rapportens titel Förstudie om tänkbara tillämpningar av situationsanpassade system		
Sammanfattning (högst 200 ord) För att ge förare bättre förutsättningar att få relevant information och lösa komplexa uppgifter har många situationsanpassade system utvecklats som tar över någon uppgift när föraren bedöms vara överbelastad. Det kan handla om allt från att selektera relevant information, styra delsystem, till lämpligt taktisk uppträdande. Utvärderingar visar att systemen kan öka prestationen och minska den mentala arbetsbelastningen. Tyvärr gör skilda förutsättningar att befintliga systemlösningar förmodligen inte går att tillämpa direkt på svenska förhållanden. Eftersom principen för situationsanpassade system ändå är lovande för tillämpningar inom svenska försvaret så sammanfattar rapporten tidigare forskning och de behov och krav som framkommit efter ett fåtal kontakter med försvaret, industrin, samt universitet och högskolor. Sammanställningen visar att situationsanpassade system kan konfigurera multimodala presentationsytor, identifiera avvikelser från procedurer, optimera den fysiologiska miljön, lösa specifika uppgifter, fördela sensoruppdrag och uppgifter inom förbandet, samt implementera högnivåstyrning. För närvarande gör bristen på uppgiftsanalyser att bara sensor styrning och adaptering av fysiologisk miljö är lämpliga tillämpningar för situationsanpassade system.		
Nyckelord situationsanpassade system, mental arbetsbelastning, situationsmedvetenhet, automation, beslutsstöd		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 19 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--0836--SE	Report type Base data report
	Programme Areas 8. Human Systems	
	Month year March 2003	Project no. E7826
	General Research Areas 5. Commissioned Research	
	Subcategories 81 Human Factors and Physiology	
Author/s (editor/s) Peter Svenmarck	Project manager Peter Svenmarck	
	Approved by Erland Svensson, Head of Department	
	Sponsoring agency Swedish Defence Materiel Administration (FMV)	
	Scientifically and technically responsible Peter Svenmarck	
Report title (In translation) Evaluation of suitable applications for adaptive aiding		
Abstract (not more than 200 words) <p>There are many systems based on adaptive aiding that improve operators' access to relevant information and capability to solve complex problems by assuming control of some tasks when the operator is overloaded. The adaptive aiding functions range from selecting relevant information, control subsystems, to appropriate tactical behavior. Evaluations show that adaptive aiding can improve performance and reduce the mental workload. Unfortunately, current solutions of adaptive aiding are not applicable to Swedish conditions due to different circumstances. However, since principles of adaptive aiding are still promising, this report summarizes earlier research and the need and requirements that have been stated during contacts with a few representatives for the Swedish defense, industry, and universities. The report shows that adaptive aiding can configure multimodal display surfaces, identify deviations from procedures, optimize the physiological environment, solve specific tasks, distribute sensor control and other tasks within the unit, and implement sensor management. Due to a lack of task analyses only sensor management and adaptation of the physiological environment are currently suitable applications for adaptive aiding.</p>		
Keywords adaptive aiding, mental workload, situation awareness, automation, decision support		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 19 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

1.	Inledning	5
2.	Tillämpningar av situationsanpassade system	6
3.	Behovet av situationsanpassade system	8
3.1.	Högnivåstyrning	9
3.2.	Sensorfördelning	10
3.3.	Uppgiftsfördelning	10
3.4.	Procedurer	10
3.5.	Felhantering	10
3.6.	Omplanering	11
3.7.	Taktiska indikatorn	11
4.	Slutsatser	12
5.	Referenser	14

1. Inledning*

Gemensamt för många senare generationens stridsflygplan är att utvecklingen av sensorer, vapen och informationssystem ställer nya krav på föraren. Stora och komplexa informationsmängder kombinerat med styrning och övervakning av flera delvis automatiserade system har gjort att situationsbedömning och utvärdering har blivit mer kognitivt krävande. För att öka förarens möjligheter att få relevant information och koncentrera sig på uppdraget har forskning och utveckling sedan början av 80-talet i princip gått två vägar. Den ena är att öka förarens situationsmedvetenhet (Endsley, 1995) genom en bättre analys av informationskraven (Endsley, 1993) och att t.ex. använda större presentationsytor (Adam, 1993, JSF Clips, 2001). Den andra är situationsanpassade system som övertar någon sekundäruppgift när föraren bedöms vara överbelastad. Det kan handla om allt från att selektera relevant information, styra delsystem, till lämpligt taktisk uppträdande. Gemensamt för båda ansatserna är att de ofta kräver någon form av data fusion för att integrera sensorinformation och identifiera kritiska situationer (t.ex. Stiles & Hoffman, 1997, Adam, 1993).

De mest omfattande exemplen på situationsanpassade system är det s.k. "associate" konceptet så som det är implementerat i de amerikanska programmen Pilot's Associate (PA) (Banks & Lizza, 1993) och Rotorcraft Pilot's Associate (RPA) (Miller & Hannen, 1999). Tanken är att stödja föraren under hela aktivitetscykeln för att bedöma och utvärdera situationen, samt planera och genomföra åtgärder (Geddes & Shalin, 1997). Systemen har därför tillräcklig kompetens för att kunna genomföra alla uppgifter på en acceptabel nivå när så krävs. Båda systemen har en liknande struktur för att beskriva omgivningen, den egna plattformen, planeringssystem för t.ex. uppdragsplanering, och ett "intelligent" gränssnitt som presenterar relevant information och automatiskt utför åtgärder när föraren är överbelastad. Gränssnittet i PA identifierar även felhandlingar som kan leda till kritiska situationer (Hammer & Small, 1995). Genom att representera förarens alla typuppgifter från de övergripande målen till specifika åtgärder i kabinen så känner systemen av förarens intentioner och presenterar relevant information (Andes, 1997). Intensionsigenkänningen är naturligtvis både grov och emellanåt felaktig men är ändå tillräcklig för att styra systemen (Hammer & Small, 1995, Miller & Hannen, 1999) (se Svenmarck, 1998, för en mer detaljerad beskrivning av PA).

En situationsanpassad styrning av presentation och stödfunktioner beroende på uppgift, strategi och operatörens uppmärksamhet förutsätter en procedurrell analys av de vanligaste sätten att hantera varje given situation. Att PA och RPA använder en hierarkisk uppgiftsanalys för att beskriva förarens uppgift och vilken information som behövs är därför ingen tillfällighet. Beskrivningen av den spatials och temporala organisationen av information är nämligen fördelen med hierarkisk uppgiftsanalys (Miller & Vicente, 2001). Kompileringen av kunskap i procedurer kan ge effektiva lösningar på givna situationer. Problemet är att eftersom alla situationer sällan går att förutse i dynamiska system kan föreskrivna procedurer vara både felaktiga och missvisande. För att hantera oförutsedda situationer måste operatören ha en djupare förståelse av funktionella begränsningar och relationer i systemet. Den vanligaste metoden för att beskriva de funktionella strukturerna är Rasmussens abstraktionshierarki (Rasmussen, 1986, Rasmussen m.fl., 1994). Genom att ta fram abstraktionshierarkin före den hierarkiska uppgiftsanalysen kombineras fördelarna med båda metoderna och ger samtidigt de bästa förutsättningarna för en fullständig beskrivning av uppgiften (Miller & Vicente, 2001). Om möjligt är det bättre att göra operatören medveten om begränsningarna för på så sätt hjälpa honom fatta beslutet själv. T.ex. visar BAEs system inom vilket område egenvektorn bör vara för att varken flyga för lågt eller för högt vid attackuppdrag på låg höjd. Svårigheten med visualisering är att stridsflyg som många andra domäner är dåligt strukturerade och det därför kan vara svårt att formalisera begränsningarna tillräckligt noggrant. Samtidigt gör tidspressen att

* Studien finansierades av Försvaretsmaterielverk (FMV) inom ramen för projektet "Adaptive Aiding", beställning 255480-LB613346.

förare aktivt söker sig till situationer där de kan använda förberedda procedurer (Amalberti & Deblon, 1992). Båda perspektiven från abstraktionshierarkin och hierarkisk uppgiftsanalys för situationsanpassade system är därför relevanta.

Utvärderingar visar att förarna uppskattar den automatiska konfigurationen av presentationsytor (Hammer & Small, 1995, Miller & Hannen, 1999). Utvärderingar av hur den mentala arbetsbelastningen påverkades är däremot varierande. Den skattade mentala arbetsbelastningen minskade med RPA (Miller & Hannen, 1999), men ökade med PA (USAF, 1995). Skillnaderna kan bero på uppgifterna i sig, att den automatiska funktionsallokeringen inte implementerades i utvärderingen av RPA, eller en bättre presentation av intentionsigenkänningen i RPA (jmf. Miller & Funk, 2001, Miller m.fl., 1999). Vidare tar felaktig automatisering ofta bort relevant information (Sarter m.fl., 1997) vilket kan ha inträffat när PA tog över delar av förarens uppgifter. Det är också oklart hur stor betydelse data fusionen hade för minskningen av den mentala arbetsbelastningen med RPA.

Förutom oklara effekter så gör också skilda förutsättningar att det kan vara svårt att överföra hela "associate" konceptet på svenska förhållanden.

- Programmen blir väldigt omfattande med en budget på ca 1 miljard kronor. Kunskapsrepresentationen är en av de stora kostnaderna även om det sedan några år finns kommersiella utvecklingsverktyg som underlättar implementeringen (Smith & Geddes, 2002).
- Svenskutvecklade system har en högre integrationsnivå än amerikanska system där leverantörer ofta ansvarar för hela kedjan från sensor/mekaniskt system till gränssnittet (Westlund, 1996). Sid- och symbolval fungerar därför på olika sätt.
- Framtida insatser för stridsflyg kännetecknas av en friare och mer kreativ roll vilket gör att det inte är lika lätt att specificera typuppgifter och hur de genomförs. Procedurorienteringen med den hierarkiska uppgiftsanalysen i både PA och RPA riskerar att överspecificera uppgifter så att de begränsar föraren (Miller & Vicente, 2001).

Ett bättre alternativ kan istället vara att utifrån hur kabinen förväntas se ut i kommande systemeditioner identifiera funktioner som belastar förarens uppmärksamhet utan att bidra till den aktuella primäruppgiften. I närtid kommer internationella fredsbevarande operationer att vara en viktig uppgift för flygvapnet och då i huvudsak spaningsuppdrag även om det exakta utseendet är oklart. Spaningsuppdrag med lufttankning innebär ofta långa pass med kända effekter på uppmärksamhet och koncentration vilket ökar betydelsen av stödsystem.

I litteraturen förekommer en rik begreppsflora inom situationsanpassade system. För att ha någon klarhet avser situationsanpassade system i resten av rapporten alla former av stödfunktioner som aktivt tar över någon uppgift när så är lämpligt. "Adaptive aiding" (automatisk funktionsallokering), adaptiva gränssnitt, och adaptiva planeringssystem är därför alla exempel på situationsanpassade system. Om flera situationsanpassade system integreras kallas det ett "intelligent" gränssnitt.

Situationsanpassade system är ännu teoretiskt och empiriskt outvecklade men en genomgång av tidigare applikationer ger ändå en viss förståelse av hur de kan användas. Nästa avsnitt sammanfattar därför tidigare forskning och vilka slutsatser det går att dra om lämpliga tillämpningar. Därefter beskrivs behov och krav på situationsanpassade system som framkommit efter kontakter med försvaret, industrin, samt universitet och högskolor. Det sista avsnittet sammanfattar tänkbara tillämpningar av situationsanpassade system och ger rekommendationer för fortsatt kompetens- och resursutveckling.

2. Tillämpningar av situationsanpassade system

Alla situationsanpassade system förutsätter en formaliserad beskrivning av hur kraven på operatören varierar över tiden. Vilken formalism som används beror på typen av uppgift. De första systemen använde

sig i huvudsak av köteori (t.ex. Chu & Rouse, 1979) där uppgifter kommer in mer eller mindre slumpmässigt för att behandlas på olika sätt före en tidsgräns (Rouse, 1988). Köteori används ofta för grundforskning om stridsledningscentraler inom US Navy där det gäller att identifiera mål och allokera resurser så att det totala resultatet blir så bra som möjligt (t.ex. Bisantz & Kirlik, 1998). Eftersom köteori är en matematisk formalism går det att analysera hur uppgifter ska fördelas mellan operatören och systemet för att undvika överbelastning. Rouse (1988) beskriver en rad tillämpningar där situationsanpassade system väsentligt förbättrar operatörens prestation som t.ex. styrning av flygplan med samtidig systemövervakning, utplacering av sensorer för ubåtsjakt, processtyrning och spaningsuppgifter. Studierna gjordes ofta med väldigt enkla simuleringar där generella styruppgifter, upptäckt av händelser, sammanvägning av attribut, sökuppgifter, etc. gavs en form beroende på tillämpning. För att förbättra möjligheterna att jämföra den här typen av studier behövs en enhetlig simulatormiljö som inkluderar de viktigaste psykometriska färdigheterna. För flyg kan det t.ex. vara psykomotoriska styruppgifter, systemövervakning, kombinationer av visuell och auditiv information, och belastning av korttidsminne. Därefter kombineras deluppgifterna för varje färdighet i en simulatormiljö med många samtidiga uppmärksamhetskrav. Multi-Attribute Task Battery (MATB) är en av de populäraste miljöerna och innehåller en två-dimensionell kompensatorisk styruppgift, bekräftelse av motorvarningar och styrning av pumpar i bränslesystem (Comstock & Arnegard, 1992). MATB och liknande miljöer används ofta för att verifiera principiella frågor om situationsanpassade system. Det kan t.ex. handla om samband mellan automationsgrad, automationscykler, mental arbetsbelastning, situationsmedvetenhet och autonomi. Några exempel på resultat är att:

- automation gör mest nytta om den bara aktiveras under perioder med hög arbetsbelastning (Parasuraman m.fl., 1999)
- under korta perioder (Scallen m.fl., 1995)
- övervakning av automation förbättras med perioder av manuell styrning (Parasuraman m.fl., 1996)
- direkta påminnelser att aktivera automation i överbelastade situationer frigör uppmärksamhet jämfört med manuella beslut (Kaber & Riley, 1999)
- prestationen förbättras om operatören själv aktiverar automationen (Morris & Rouse, 1986)
- neurala nätverk kan klassificera nivåerna av mental arbetsbelastning från psykofysiologiska mätningar och aktivera automationen (Wilson m.fl., 1999)
- enbart mätningar av EEG och ERP kan vara tillräckligt för att aktivera automationen (Prinzel m.fl., 2001)
- prestationen förbättras med träning i att känna igen överbelastade situationer (Prinzel m.fl., 2002)

För mer komplexa kognitiva uppgifter så har det övergripande angreppssättet för situationsanpassade system i PA inspirerat många forskningsprogram. Associate konceptet används bl.a. i RPA som modifierade och vidareutvecklade attackmodulen i PA för attackhelikoptrar och Crewman's Associate för US Armys framtida stridsvagn (Pechacek & Webb, 1996). Flera resultat är publicerade från utvärderingar av RPA och visar att:

- användningen av data fusion för att integrerar informationskällor ger avsevärt förbättrad situationsbedömning och klassificering av mål (Stiles m.fl., 1998)
- snabbare och effektivare attackplanering möjliggör anfall utan att först söka skydd (Benes & Robertson, 1999)
- antalet beskjutna mål ökade med 50 % och förlusterna minskade med 75 % (Vertiflite, 1999)
- flexibiliteten ökar så att fler saker kan göras på tillgänglig tid (Vertiflite, 1999)
- förarna bedömer förmågan att genomföra uppdrag som bra till utmärkt (Robertson, 2000)

- att den mentala arbetsbelastningen minskar (Miller & Hannen, 1999)

Situationsanpassad presentation är en viktig del i både PA och RPA och är ett forskningsområde i sig om hur multimodala presentationsytor ska användas för informationsöverföring. Frågeställningarna kan t.ex. handla om symbolik för att följa planerat uppdrag vid avvikelser (Bennet m.fl., 2001), efter störningar (Moroney, 1999), målval (Tannen, 1999, Tannen m.fl., 2000) och att följa attackprofiler (Lintern m.fl., 1987). Den situationsanpassade presentationen implementeras ofta genom att visa extra symbolik för att hjälpa föraren vid avvikelser från planerad flygbana. På så sätt kan prestationen förbättras utan att presentationsytor används i onödan förutsatt att de automatiska symbolväxlingarna inte ökar den mentala arbetsbelastningen. Eftersom minskad symbolanvändning är en fördel i sig så är situationsanpassad presentation till nytta även om den inte påverkar prestationen. Det är också viktigt att symboliken tar hänsyn till risken för kognitivt tunnelseende. Symboliken för målutpekning är t.ex. inte alltid rätt utan det kan finnas viktigare mål precis intill som föraren kan missa om symboliken fångar uppmärksamheten för mycket (Yeh m.fl., 1999).

Tillskillnad från US Air Force och US Army har US Navy inte anammat "associate" konceptet utan har separata forskningsprogram för situationsanpassad automation och presentation. Forskningen inom situationsanpassad automation började på 90-talet med Adaptive Function Allocation for Intelligent Cockpits (AFAIC) (Morrison, 1993). Programmet hade i huvudsak grundforskningskaraktär med flera principstudier i MATB. Principerna för situationsanpassad automation tillämpades sedan några år senare i projektet Smart Cockpit Controller (SCC) (Warner, 1997, Proctor, 1999). SCC integrerar och koordinerar livsupphållande funktioner och utskjutningssystem inklusive reglage och displayer med situationsanpassad automation. SCC optimerar den fysiologiska miljön, initierar utskjutning, varnar för markkollision, återhämtar spinn och konfigurerar plattformen beroende på situation utifrån principer om situationsanpassad automation och presentation. Systemet var avsett att integreras i en F-18 simulator men inga resultat verkar ännu vara publicerade offentligt. För närvarande fortsätter grundforskningen inom situationsanpassade system med hur psykofysiologiska mätningar kan användas för att adaptera automation och presentation inom ramen för projektet Augmented Cognition (Schmorrow & Kruse, 2002).

Det finns även en hel del civil forskning om situationsanpassade system. Generic Intelligent Driver Support (GIDS) är t.ex. ett av de mer kända programmen inom intelligenta transportsystem (se Michon, 1993). Utifrån en uppgiftsanalys identifierades lämpliga hjälpfunktioner för navigering, manövrering och styrning. Genom att använda en liten simulerad men representativ trafikmiljö kunde alla möjliga situationer beskrivas formellt. Formaliseringen av omvärlden och förarens åtgärder gjorde det möjligt att avgöra hur säker körningen var och ge varningar, råd och instruktioner samt överta styrningen i nödfall. Hur kritiskt meddelandet var i kombination med förarens mentala arbetsbelastning användes för att prioritera meddelanden och telefonsamtal. Den mentala arbetsbelastningen uppskattades genom beskriva hur mycket kapacitet varje situation och informationskälla kräver. Alla stödfunktioner var baserade på noggranna litteraturoversikter och kompletterande studier. Utvärderingar visar att förare kör säkrare med GIDS och att prioriteringar av meddelanden jämnade ut den mentala arbetsbelastningen. GIDS var på många sätt före sin tid och den här typen av intelligenta system är nu ett aktivt område inom bilindustrin.

Slutligen har metodiken för identifiering av felhandlingar i PA generaliserats till en Hazard Monitor och använts för att bl.a. beskriva programmeringsfel av Flight Management System (FMS) som kan leda till kollisioner och ge lämplig feedback om felet till piloten (Greenberg m.fl., 1995), samt en "intelligent" instruktör för allmänflyg (Bass, 1998).

3. Behovet av situationsanpassade system

Redan i dagens kabin finns exempel på situationsanpassade system även om de är framtagna utan något egentligt teoretiskt resonemang om adaption. Ett exempel är markkollisionsvarningen som visas med

markindikering nära marken, upptagningspilar med nödvändig G-kraft vid kollisionsrisk, och slutligen automatisk upptagning för att undvika kollision (AutoGCAS) (Albery & Khomenko, 2002). Det finns även mer rudimentära situationsanpassade system som att vissa knappar är urkopplade vid taxning. För att situationsanpassade system ska vara användbara måste de uppfylla samma krav som andra funktioner på:

- Systemtydlighet dvs. att föraren kan förstå och predicera systemets beteende i olika situationer och få tillräcklig information för styrning och övervakning
- Robusthet dvs. systemet fungerar stabilt även när kvalitén på parametrarna försämras, t.ex. vid kalibreringsfel i navigationssystemet ska det inte visas ännu fler symboler som är missvisande,
- Beslutsstöd dvs. systemet förbättrar förarens möjligheter att genomföra uppdraget även med individuella skillnader i erfarenhet och taktik
- Flexibilitet dvs. systemet ska fungera i många olika situationer

Brister i systemtydligheten gör att föraren får svårt att hänga med i automatiska modväxlingar, t.ex. från styrordernod till siktesnod som ger mindre information. Precis som för automatiska modväxlingar hos autopiloter inom civilt flyg måste de vara enkla så att föraren kommer ihåg dem under uppdraget samt att det finns tillräcklig information för att förstå beteendet (Sarter m.fl., 1997). Annars kan föraren mycket väl bli överraskad när han inte förstår vad systemet håller på med (Woods & Sarter, 1995). Ofta behövs mer träning för att förstå hur situationsanpassade system fungerar. Träningsprogrammet för Rotorcraft Pilot's Associate är t.ex. baserat på en modell av förarnas förtroende för systemet och tar upp interaktionen, vad förarna kan bidra med och när de ska ingripa (Cohen, 2000). Trots eventuella brister så minskar ändå dagens situationsanpassade system belastningen på föraren. Att göra samma saker manuellt när systemen fallerar tar därför mycket kapacitet.

Aktuella problemråden som nämnts under diskussionerna där situationsanpassade system kan vara användbara är högnivåstyrning, sensor- och uppgiftsfördelning, procedurer, felhantering, omplanering och komplexiteten på den taktiska indikatorn. Följande avsnitt beskriver problembakgrunden för varje område och tänkbara situationsanpassade stöd.

3.1. Högnivåstyrning

Behovet av systemtydlighet är speciellt påtagligt vid högnivåstyrning på en högre abstraktionsnivå. För radarn kan det handla om att ange uppgifter som att söka efter snabba mål på hög höjd istället för komma ihåg vilka radarmoder som ska användas, hur de ställs in, samt lämpligt sökprogram och svepvolym horisontalt och vertikalt. Interaktionen med radar kräver idag mycket kunskap och kapacitet.

Komplexiteten hos radarn är ett generellt problem för många plattformar. Studier av amerikanska F-18 piloter visar att de bara använder en bråkdel av alla radarmodernerna (Geddes, 1985). Förutsatt att föraren kan ange uppgifterna på ett enkelt sätt så finns det därför mycket att vinna på högnivåstyrning. Problemet är att när komplexiteten döljs av systemet så det blir ofta svårare att förstå och övervaka (Parasuraman & Riley, 1997). För radarna kan t.ex. uppdateringsfrekvensen plötsligt minska betydligt vid sökning efter mål inom ett visst område pga. att sökprogrammen använder små bestämda vinkelförändringar och att den totala vinkeln blir väldigt stor på låg höjd. Eftersom radarn bara är delvis automatiserad behöver operatören få tillräcklig information för att se när det är dags att ingripa (jmf. Billings, 1997). I dagsläget räcker det ofta att titta på radarindexen för hur radarantennen är riktad horisontalt och vertikalt för att förstå hur radarn arbetar. Det är inte säkert att den informationen är tillräckligt eller ens meningsfullt när systemet själv bestämmer hur uppgifterna ska lösas. Detta gäller speciellt för AESA radar som mer eller mindre kräver högnivåstyrning för att kunna utnyttja kapaciteten med snabb elektronisk styrning av radarenergien i godtycklig riktning.

Genom att prioritera mål och sökområden efter hur viktiga de är kan systemet räkna ut när och var mätningar behöver göras (Popoli & Blackman, 1987, Popoli, 1992, Jensen m.fl., 1998, Strömberg, 1999).

Förarna indikerar för närvarande primärmålen själva utifrån hur de tolkar situationen. En formaliserad beskrivning av de här besluten kan möjligen användas för att förbättra sensorstyrningen och avlasta föraren (Svenmarck m.fl., 2000). Slutligen är det viktigt att ta hänsyn till eventuella sidoeffekter som i vilka lägen störkapseln även stör den egna radarn.

3.2.Sensorfördelning

Uppgifterna gäller inte bara för den egna plattformen utan det viktigaste är att sensoranvändningen optimeras för hela gruppen (Berg m.fl., 2002, Strömberg & Lantz, 2002). Idag upplevs fördelningen av sensorvolymen i framförallt höjdled som svårt. Det är också viktigt att hela gruppens radaranvändning minimeras för att gå så tyst som möjligt och undvika upptäckt.

3.3.Uppgiftsfördelning

Samma resonemang som för fördelning av sensoruppgifter gäller även för uppgiftsfördelning inom förbandet. Hur förarna koordinerar sig för att lösa uppgifter gemensamt har inte studerats i samma omfattning som individuellt beslutsfattande. Koordination behövs i alla lägen när osäkerheten gör att anfallet inte kan detaljplaneras i förväg vilket är typiskt för anfall mot rörliga mål. T.ex. vid anfall med bombkapsel mot sjömål så görs målfördelningen och den sista inställningen av vapenparametrarna strax före anfallet. Precis som för sensorstyrningen kan en systematisk beskrivning av de faktorer förarna använder sig av vara grund för att utveckla situationsanpassade stöd för uppgiftsfördelning.

3.4.Procedurer

På en mer övergripande nivå styrs insatser av förarinstruktionen och för uppdraget speciellt framtagna regler för uppträdande. Det kan handla om krav på identifiering av mål, när och hur vapen får användas etc. Speciellt vid internationella insatser kan de här reglerna bli omfattande och någon form av situationsanpassat stöd kan minska belastningen på föraren. Förutsatt att reglerna kan formaliseras går det mycket väl att presentera betydelsen i den aktuella situationen för att på så sätt hjälpa föraren att följa föreskrivna regler och procedurer.

3.5.Felhantering

Ett återkommande problem i många former av processövervakning är att dynamiskt hantera fel så att skadan inte förvärras och att operatören förstår vilka effekter felet har på styrningen av systemet. Problemet är att komplexiteten och den nära integrationen av systemen gör att ett huvudfel snabbt får många följdfel. Ofta presenteras varje fel stort som litet direkt när det inträffar vilket gör det svårt att överblicka vad som hänt. Samma problem finns med dagens varningstablå där fel visas med en matris av lampor för komponenter i systemet och en detaljerad fellista (Castor m.fl., 1999). Den här presentationsformen tar lång tid att tolka eftersom mycket information visas utan någon relation till underliggande felstrukturer. Genom att istället endast presentera det viktigaste felet och lämpliga åtgärder kan tiden för tolkning i princip halveras från 10 till 5s (Singer & Dekker, 2000). Castor och Magnusson (2002) beskriver hur en liknande presentation av varningarna i kabinen kan minska tiden för tolkning med 20-95 % vilket motsvarar ca 20s. Varningssystemet kan även förbättras ytterligare genom att situationsanpassa lämpliga åtgärder och mängden information som presenteras om felet när föraren är överbelastad. Istället för checklistor som är begränsade både till antalet och vissa situationer så använde PA en speciell modul för att automatiskt diagnostisera fel och generera lämpliga åtgärder (Pomeroy m.fl., 1990). Fel utan direkta konsekvenser för uppdraget behöver heller inte presenteras när föraren är mest upptagen. Genom att styra felpresentationen utifrån den aktuella situationen kan prestationen förbättras (Castor & Magnusson, 2002). Erfarna förare gör redan den här bedömningen genom att de vet vilka fel som kräver omedelbara åtgärder och vilka de kan vänta med (Amalberti & Deblon, 1992).

3.6. Omplanering

Ytterligare ett område där situationsanpassade system kan vara användbara är stöd för omplanering av attackuppdrag. Speciellt uppdrag som genomförs på låg höjd är mycket krävande. Även om allt går enligt planen kan föraren bara ägna 40 % av kapaciteten åt att mer långsiktigt fundera på det bästa sättet att genomföra uppdraget och vid avvikelser från planerat uppdrag sjunker kapaciteten till 10 % (Amalberti & Deblon, 1992). Svenmarck m.fl. (1997) beskriver hur föraren därför försöker reducera osäkerheter så mycket som möjligt i förväg genom att planera en färdväg som ger de bästa förutsättningar att vara vid målet i rätt tid och som samtidigt har marginaler för oförutsedda händelser. Dessutom finns det sällan möjlighet att planera åtgärder när något inträffar utan föraren försöker förutse tänkbara händelser och hur de ska hanteras. Det gör också att de aktivt försöker hålla sig inom områden där de har förberedda åtgärder. Den slutliga planen representerar därför många avvägningar och förberedelser. När avvikelser inträffar pga. oförutsedda hot, dåligt väder, eller systemfel försöker föraren ta sig tillbaka till planerat uppdrag så snabbt som möjligt. Mer omfattande omplaneringar kräver för mycket kapacitet.

I dagsläget får föraren stöd för att hantera mindre avvikelser från planerat uppdrag men mer omfattande avvikelser får han hantera på egen hand. Tidspresen när händelser inträffar gör att föraren förmodligen inte kan ta till sig mer information eller förslag på åtgärder innan situationen stabiliserats. Däremot finns det flera förslag och exempel på stöd för att hantera avvikelser när de väl inträffat.

- Eftersom själva flygningen är så krävande vid avvikelser är allt som frigör kapacitet för att hantera mer långsiktiga konsekvenser av intresse. Även förslag eller lämpliga begränsningar av flygvägen för en kort tid framåt kan vara tillräckligt.
- För stöd på längre sikt så finns system som optimerar var, när och med vilken fart föraren ska ansluta till planerat uppdrag för att komma fram i rätt tid (se Moroney, 1999).
- Mer omfattande omplaneringar kan ses som ett optimeringsproblem där det gäller att undvika hot och samtidigt uppfylla tids- och bränslekrav. Många industriella projekt använder den här principen (se Key & Levitt, 1987, Gallo m.fl., 1989, Schulte & Klöckner, 1997, Stiles m.fl., 1998, Ekström m.fl. 2002). Förutsatt att systemen representerar och hanterar de viktigaste faktorerna på ett sätt som är relevant för föraren kan de förbättra möjligheterna att genomföra uppdraget. Det är speciellt viktigt med stöd för tids- och bränslekrav eftersom många små ändringar kan aggregeras för att uppfylla kraven (Johnson m.fl., 2002). Med Lockheed Martins omplaneringssystem minskade t.ex. hotexponeringen med 80 % och även om antalet hotexponeringar ökade var tiden alltid för kort för skott (Probert, 1997). Med manuell planering fick flera hot skjutmöjlighet varav några skott träffade.
- Slutligen beskriver Amalberti och Deblon (1992) hur systemet kan hjälpa föraren med att beakta alla relevanta faktorer genom att stimulera till självreflektion och självkritik. Förarnas förståelse av situationen förbättrades när de fick förslag från en kognitiv modell av hur en kunnig förare skulle hantera situationen (Amalberti & Valot, 1993). Systemet hjälper på så sätt föraren att förutse konsekvenser av handlingar istället för att föreslå en optimal lösning.

3.7. Taktiska indikatorn

Ett annat problem är att dagens presentation på den taktiska indikatorn (TI) till stora delar endast utnyttjar det central seendet och kräver medveten tolkning av symbolerna. Symbolbiblioteket består för närvarande av ca 100 mer eller mindre kryptiska symboler med indikeringar för bl.a. källa, kvalitet, identitet och kategori. Att symbolstorleken ligger på gränsen för vad man kan uppfatta tydligt gör inte saken lättare. TI blir därför fort svårtolkad när antalet mål ökar. Exempelvis om fyra primärmål mäts noggrant med den egna radarn, tio mål mäts endast tillräckligt för följning, sex mål kommer via datalänk från den egna gruppen, och tolv från Stril varav två är utpekade. Det är därför inte omöjligt att hela gruppen kan följa uppåt fyrtio mål. Ett sätt att minska komplexiteten är helt enkelt att filtrera bort de för stunden mindre

väsentliga målen. Problemet är att även om föraren klassificerar målen som hot, attackmål, egna och neutrala så är prioritetsordningen mycket situationsberoende. Det är därför inget trivialt problem att hitta en acceptabel metod för situationsanpassad filtrering av målen. Förmodligen behövs noggranna studier av vilka faktorer som styr klassificering och prioritering. Ytterligare ett sätt att minska komplexiteten är att höja abstraktionsnivån genom att gruppera mindre viktiga mål och endast presentera det övergripande beteendet (jmf. Rasmussen, 1986). Gruppering är speciellt viktigt i markfallet där stora styrkor kan vara samlade på några kvadratkilometer vilket bara motsvarar ett par procent av presentationsytan i vanliga radarmoder. Grupperingsalgoritmer kan t.ex. utgå från bulk effekter (Salmond & Gordon, 1999), närhet i tid och rum (Hsuen-Chyun m.fl., 1995), gemensam rörelse (Blasch m.fl., 2001), och a priori funktionella enheter (Björnfot & Svensson, 2000, Schubert, 2001). Vissa ansatser kan också variera själva principerna för grupperingen (t.ex. Mahler, 2001). För att utveckla och utvärdera lämpliga grupperingsalgoritmer är det förmodligen nödvändigt att beskriva de tidsskalor som föraren agerar i (jmf. Brehmer & Svenmarck, 1995). Att direkt attackera specifika mål kan ske i stort sett omedelbart men att hitta rätt läge för anfall tar längre tid. Flera tidsskalor är därför aktuella samtidigt. Alla grupperingsalgoritmer använder någon aspekt av tidsskalor men varför den valda aspekten är mer relevant än någon annan framgår sällan. Det behövs även studier av trovärdiga övergripande symboler och hur den situationsanpassade grupperingen ska aktiveras.

4. Slutsatser

Sammantaget tyder den här begränsade sammanställningen på att situationsanpassade system kan förbättra operatörens prestation genom att:

- Konfigurera multimodala presentationsytor
- Filtrera irrelevant information
- Ge påminnelser
- Öka symbolkontraster för att fånga uppmärksamheten
- Identifiera felhandlingar och avvikelser från procedurer och ge lämplig feedback
- Optimera fysiologisk miljö och utskjutningssystem
- Lösa specifika uppgifter som uppdragsplanering, lämplig taktik, hotnivåer, sensorstyrning, och åtgärder vid fel
- Fördela sensoruppdrag och uppgifter inom förbandet
- Styra delsystem
- Implementera högnivåstyrning förutsatt att operatören på ett bekvämt sätt kan ange sina intentioner (Geddes & Hoffman, 1990, Miller & Goldman, 1999)

Alla funktionerna aktiveras genom att mäta egenskaper hos situationen, operatörens prestation och/eller psykofysiologiska tillstånd. Mätningen av situationen i omgivning, på den egna plattformen och operatörens åtgärder är det vanligaste sättet att aktivera systemanpassningen i tidigare tillämpningar. Anledningen är helt enkelt att bara mätningar av situationen haft tillräcklig reabilitet för att karaktärisera externa händelser och operatörens intentioner, mentala arbetsbelastning och situationsmedvetenhet. Först på senare tid det gjorts försök med psykofysiologisk styrning av situationsanpassade system inom grundforskningen (Byrne & Parasuraman, 1996, Wilson m.fl., 1999, Prinzel m.fl., 2001) och för enstaka tillämpningar (Warner, 1997, Proctor, 1999). Fördelarna med psykofysiologiska mätningar är att de mäter operatörens mentala arbetsbelastning mer direkt jämfört med situationsvariabler och ger utslag strax innan prestationen försämras. Utvecklingen av psykofysiologiska mått är därför ett viktigt område för situationsanpassade system. Vidare förutsätter situationsanpassning som styrs av sensorinformation och

sensornätverk ofta en omfattande datafusion för att integrera informationskällor och härleda en symbolisk beskrivning av situationen. Även datafusion är därför viktig för vissa situationsanpassade system. Slutligen är mätningar av operatörens prestation intressant på många sätt men svårigheterna att hitta objektiva mått för bra prestation i komplexa och dynamiska uppgifter gör att den metodiken sällan används i praktiken.

Mätningarna kombineras sedan med en logik för hur systemet ska adaptera för att skapa den mest fördelaktiga konfigurationen. Det finns en mängd representationsformer för styrlogiken som t.ex. ”plan-goal graph” (Andes, 1997), uppgiftsnät (Miller, 1999) och Bayesianska nät. Ingen representationsform är egentligen bäst i någon absolut mening utan det beror helt på uppgiften. Generellt sett har representationsformerna fungerat bra i tidigare tillämpningar av situationsanpassade system. För nya tillämpningar finns det all anledning att noga utvärdera det bästa alternativet eftersom kunskaps-representationsformer är ett fortsatt aktivt område inom kognitionsvetenskap.

Sammanställningen visar också att situationsanpassade system förutsätter en omfattande empirisk kunskap om lämpliga mätningar och konfigurationer för att formalisera situationsanpassning så att den kan implementeras. Framgången med RPA och GIDS beror till stor del på att de båda genomförde en noggrann uppgiftsanalys, tog fram relevanta scenarier, utvecklade simulatormiljöer, gjorde kompletterande studier och utförliga utvärderingar som en grund för systemutvecklingen. Med det perspektivet är det nuvarande kunskapsläget i princip bara tillräcklig för situationsanpassning av sensorstyrning och den fysiologiska miljön. AESA-radar, snabba kommunikationsnät och adaptiva styrregler gör att sensorstyrning mycket väl kan implementeras i närtid. På lite längre sikt kan möjligen forskning om relationer mellan fysiologiska miljön och prestation användas för att adaptera systemfunktioner beroende på situationen. Redan idag ökas trycket i G-dräkten runt benen vid ökad G-belastning. Kunskaper om effekter på färgseende och medvetande eventuellt kombinerat nya systemfunktioner som ombordgenererat syre kan ge förutsättningar för situationsanpassning. Psykofysiologiska mätningar kan vara ett sätt att öka adaptationens känslighet och individanpassning som i t.ex. SCC.

Trots en stark forskningstradition inom psykofysiologiska mätningar för systemvalideringen har den ännu inte använts för situationsanpassning av presentationsytor. Det beror till stor del på att stridsflygets friare roll och allmän resursbrist gjort det svårt att genomföra nödvändiga uppgiftsanalys som behövs för att beskriva hur presentationsytorna ska konfigureras för olika situationer. Multimodala presentationsytor är för närvarande ett aktivt område men utan uppgiftsanalys och scenarier som är välförankrade i de uppgifter flygvapnet har i insatsförsvaret och kommande internationella insatser kommer det vara svårt att tillämpa forskningsresultaten. Det är också viktigt att följa den internationella forskningen om multimodala presentationsytor som t.ex. laboratorerna Synthesized Immersion Research Environment (SIRE) vid US Air Force Research Laboratory (Brickman m.fl., 1997, Brickman m.fl., 2000) och Virtual Cockpit (Clevenger & Adams, 2002).

Slutligen behövs en mer omfattande granskning av försvarets samtliga teknikprojekt och operatörmiljöer med avseende på adaptivitet som t.ex. ledningssystem (se Rouse & Rouse, 1983, Hillburn, 1997, Duley & Parasuraman, 1999, Hess & Patterson, 2001) och UAS (se Geddes & Hoffman, 1990, Miller & Goldman, 1999).

De tydliga fördelarna med situationsanpassade system gör att det finns all anledning att fortsätta forsknings- och utvecklingsarbete om på vilket sätt principerna kan vara till nytta inom försvaret för att förbättra operatörers prestation och säkerhet. Slutsatserna tyder på att följande rekommendationer är rimliga första steg i det fortsatta arbetet:

- Att en projektgrupp bildas för att specificera på vilket sätt sensorstyrning och sensorfördelning kan effektiviseras mha. AESA-radar och datalänk för att ge nödvändig situationsmedvetenhet och samtidigt minimera radarenergien

- Att en noggrann utredning görs om på vilket sätt situationsanpassning av den fysiologiska miljön kan förbättra förarens prestation, medvetande, färgseende etc. Bl.a. bör US Navy kontaktas direkt för mer information om deras användning av psykofysiologiska mått och adaptiv automation. Utredningen bör även beskriva behovet av kompletterande studier och hur simulatormiljöer som DFSen kan användas.
- Att representativa scenarier tas fram för forskning om multimodala presentationsytor
- Att utveckling och validering av psykofysiologiska mått fortsätter som i dagsläget
- Att en litteraturöversikt görs om tänkbara kunskapsrepresentationer
- Att en utredning görs om inom vilka områden det finns förutsättningar att genomföra uppgiftsanalyser på den detaljnivå som krävs för situationsanpassad presentation
- Att förutsättningarna för situationsanpassade system studeras för ledningssystem, logistikfunktioner och plattformar inom flottan och armén

Rapporten beskriver hur interaktionen med radarn idag tar mycket kapacitet och det är därför angeläget att snarast komma igång med en projektgrupp om hur sensorstyrningen kan effektiviseras. Flera projekt genomförs redan på FOI och inom industrin men utan någon egentlig gemensam koordination. Vad författaren känner till är projekten också i huvudsak inriktade mot algoritmer för sensorstyrning och sensorfusion eller taktiskt uppträdande. Viktiga människa-maskin frågor inom högnivåstyrning som förtroendet för styrregler, meningsfull presentation av radarns beteende och lämpliga interaktionsformer för sensorfördelning studeras för närvarande inte inom något projekt. Det är också viktigt att precisera vad nödvändig situationsmedvetenhet innebär och successivt genomföra empiriska studier av vilken information som egentligen påverkar förarnas beslut. Lika viktigt är det att representativa scenarier tas fram för forskningen om multimodala gränssnitt innan empiriska studier specificeras och genomförs.

Eftersom teknikutvecklingen inom försvaret för närvarande omorienteras mot ledningssystem och plattformar inom flottan och armén så är det även angeläget att snarast utvärdera förutsättningarna för situationsanpassade system i de miljöerna.

Ur flygsäkerhetsperspektiv finns det mycket att vinna på en situationsanpassning av den fysiologiska miljön. En bra empirisk tradition kombinerat med praktiska erfarenheter från US Navy av adaptiv automation gör att endast en begränsad insats behövs för att bedöma förutsättningarna för den typen av situationsanpassade system i kabinen. Eftersom att en eventuell implementation ligger längre fram i tiden än sensorstyrning så räcker det med om utredningen påbörjas inom det närmsta året. Samma tidsram är även rimlig för att studera förutsättningar för detaljerade uppgiftsanalyser som kan ligga till grund för situationsanpassad presentation.

Litteraturöversikten om tänkbara kunskapsrepresentationer behövs först på längre sikt inom två år.

5. Referenser

- Adam, E. C. (1993). Fighter Cockpits of the Future. *Proceedings of 12th IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference*, pp. 318–323.
- Albery, W. B., & Khomenko, M. N. (2002). Differences in pilot automation philosophies in the US and Russian air forces ground collision avoidance systems. In *Proceedings NATO/RTO symposium on The Role of Humans in Automated Systems*, 7-9 October, Warsaw, Poland.
- Amalberti, R., & Deblon, F. (1992). Cognitive modelling of fighter aircraft process control: a step towards an intelligent on-board assistance system. *International Journal of Man-Machine Studies*, 36, 639-671.

- Amalberti, R., & Valot, C. (1993). From field work analysis to a cognitive model and the design of support systems: Assistance to fighter pilots. In *Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man, & Cybernetics – 1993*.
- Andes, R. C. (1997). Assuring human-centeredness in intelligent rotorcraft cockpits - Using crew intent estimation to coordinate RPA functions. *Proceedings of the American Helicopter Society 53rd Annual Forum*, April 29-May 1, Virginia Beach, VA, pp. 73-80.
- Banks, S. B. & Lizza, C. S. (1991). Pilot's associate: A cooperative, knowledge-based system application. *IEEE Expert*, 6(3), 18-29.
- Bass, E. J. (1998). Architecture for an intelligent instructor pilot decision support system. In *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 891-896.
- Benes, R., & Robertson, G. (1999). Rotorcraft Pilot's Associate test approach and results for Boeing simulation. *Proceedings of the American Helicopter Society 55th International Annual Forum*, May 25-27, Montreal, Canada, Vol. 2, pp. 1347-1357.
- Bennett, K. B., Cress, J. D., Hettinger, L. J., Stautberg, D., & Haas, M. W. (2001). A Theoretical Analysis and Preliminary Investigation of Dynamically Adaptive Interfaces. *International Journal of Aviation Psychology*, 11(2), 169-195.
- Berg, T., Lantz, F., & Strömberg, D. (2002). *Plattformar i nätverk - Mjukvaruarkitektur och operatörstjänster*. FOI-R--696--SE. Totalförsvarets forskningsinstitut, Linköping, Sweden.
- Billings, C. E. (1997). *Aviation Automation: The Search for a Human-Centred Approach*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Bisantz, A. M., & Kirlik, A. (1998). Investigating the effects of problem format and task related experience. *Proceedings of the 4th Annual Symposium on Human Interaction with Complex Systems (HICS'98)*, March 22-25, Dayton, OH, pp. 146-154.
- Björnfot, J., & Svensson, P. (2000). Modeling of the column recognition problem in tactical information fusion. *Proceedings of the Third International Conference on Information Fusion (Fusion 2000)*, July 10-13, Paris, France.
- Blasch, E., Connare, T., & Scarpino, F. (2001). Improving track attributes with group information feedback. In *Proceedings of the 4th International Conference on Information Fusion (FUSION 2001)*, August 7-10, Montreal, Canada.
- Brehmer, B. & Svenmarck, P. (1995). Distributed decision making in dynamic environments: Time scales and architectures of decision making. In J.-P. Caverni, M. Bar-Hillel, F. H. Barron and H. Jungermann (Eds.), *Contributions to Decision Making*. Elsevier Science.
- Brickman, B. J., Hettinger, L. J., & Haas, M. W. (1997). Tactical aviation and human factors: Designing the SIRE Supercockpit. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 41st Annual Meeting*, Human Factors and Ergonomics Society, Albuquerque, NM, pp. 299-303.
- Brickman, B. J., Hettinger, L. J., & Haas, M. W. (2000). Multisensory interface design for complex task domains: Replacing information overload with meaning in tactical crew stations. *International Journal of Aviation Psychology*, 10(3), 273-290.
- Broadwell, M. M. (1987). Vehicle for AI application. In *Technical Papers Related to the Pilot's Associate Program*. Wright Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base.
- Castor, M., & Magnusson, S. (2002). *Felhantering med operatorsanpassat funktionsövervakningssystem*. FOI-R--0503--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut, Linköping.
- Castor, M., Nilsson, S.-Å., & Ericsson, M. (1999). *Automation of Fighter Aircraft Warnings – Design Proposals for Handling and Presentation*. FFA Technical Notes 1999-19, Bromma.
- Chu, Y., & Rouse, W. B. (1979). Adaptive allocation of decision making responsibility between human and computer in multi-task situations. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-9, 769-778.
- Clevenger, J. D., & Adams, T. B. (2002). Virtual cockpits utilizing retinal scanning displays. In *Proceedings of Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference ITSEC'02*. December 2-5, Orlando, FL, pp. 1086-1092.

- Cohen, M. S. (2000). Training for Trust in Decision Aids, with applications to the Rotorcraft's Pilot's Associate. *Proceedings of the Interantional Conference on Human Performance, Situation Awareness & Automation*. Savannah, GA.
- Cohen, M. S., & Freeman, J. T. (1996). Thinking naturally about uncertainty, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th Annual Meeting* (pp. 179-183). Philadelphia, PA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Comstock, J. R., & Arnegard, R. J. (1992). *Multi-attribute task battery*. (Technical Report). Hampton, VA: NASA Langley Research Center.
- Duley, J.A., Parasuraman, R. (1999). Adaptive information management in future air traffic control. In M. W. Scerbo & M. Mouloua (Eds.), *Automation technology and human performance: current research and trends*. Mahwah: Erlbaum.
- Ekström, H., Flügel, S., Wilkinson, P., & Patchett, C. (2002). Exploiting decision support aids for the benefit of the single-seat piloted aircraft. In *Proceedings of Human Factors and Safety in Aviation*, September 26-27, Lund, Sweden.
- Endsley, M. R. (1993). A survey of situation awareness requirements in air-to-air combat fighters. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(2), 157-168.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness. *Human Factors*, 37(1), 65-84.
- Gallo, P., Dabbene, D., Luise, F., & Giordanego, P. (1989). Expert system for pilot assistance: the challenge of an intensive prototyping. In M. Mohan (Ed.), *Proc. SPIE Vol. 1095, Applications of Artificial Intelligence VII*, pp. 1101-1117.
- Geddes, N. D. & Shalin, V. L. (1997). *Intelligent decision aiding for aviation*. HFA Report 1997-05. Swedish Centre for Human Factors in Aviation: Linköping, Sweden.
- Geddes, N. D. (1985). *Opportunities for intelligent aiding in naval air-sea warfare: An F-18 war-at-sea study*. Tech. Rep. No. 8502-1, Northcross, GA: Search Technology.
- Geddes, N. D., & Hoffman, M. A. (1990). Supervising unmanned roving vehicles through an intelligent interface. In *Proceedings of the SOAR-90 conference*, Albuquerque, New Mexico.
- Greenberg, A. D., Small, R. L., Zenyuh, J. P., & Skidmore M. D. (1995). Monitoring for hazard in flight management systems. *European Journal of Operational Research*, 84(1), 5-24.
- Hammer, J. M. & Small, R. M. (1995). An intelligent interface in an associate system. In W. B. Rouse (Red.), *Human/Technology Interaction in Complex Systems*, 7, 1-44. JAI Press.
- Hess, J., & Patterson, S. (2001). Adapting and expanding rotorcraft decision aids for the battle commander. In *Proceedings of the American Helicopter Society 57th Annual Forum*, May 9-11, Washington, DC, pp. 678-685.
- Hillburn, B. (1997). Dynamic decision aiding: the impact of adaptive automation on mental workload. In D. Harris (Ed.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Aldershot: Ashgate.
- Hsuen-Chyun, S., Yung-Tsan., L., Jan-Min, Y., & Hao, J. (1995). The group tracking of targets on sea surface by 2-D search radar. *IEEE 1995 International Radar Conference*, pp. 329 – 333.
- Johnson, K., Liling, R., Kuchar, J., & Oman, C. (2002). Interaction of automation and time pressure in route planning task. In *Proceedings of HCI-Aero 2002*.
- JSF Clips (2001). Joint Strike Fighter. *JSF Clips*, 26 nov.
- Kaber, D. B., & Riley, J. M. (1999). Adaptive autonomy of a dynamic control task based on worload assessment through a secondary monitoring task. In M. W. Scerbo, & M. Mouloua (Eds.), *Automation Technology and Human Performance: Current Research and Trends*. Lawrence Erlbaum, NJ.
- Key, C. & Leavitt, T. (1987). Pilot aiding in the pilot's associate mission planner. *IEEE Conference of Systems, Man, & Cybernetics*.
- Lintern, G., Thomley-Yates, K. E., Nelson, B. E., & Roscoe, S. N. (1987). Content, variety, and augmentation of simulated visual scenes for teaching air-to-ground attack. *Human Factors*, 29(1), 45-59.

- Mahler, R. P. (2001). Detecting, tracking, and classifying group targets: a unified approach. In I. Kadar (Ed.), *Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition X*, Proc. SPIE Vol. 4380, pp. 217-228.
- Michon, J. A. (Ed.) (1993). *Generic Intelligent Driver Support*. London: Taylor & Francis.
- Miller C. A., & Goldman, R. (1999). Tasking interfaces: Associates that know who's the boss. In J. Reising, R. M. Taylor, & R. Onken, (Red.), *The human electronic crew: The right stuff? Proceedings of the 4th joint GAF/RAF/USAF workshop on human-computer teamwork*, Kreuth, Germany (Tech. Rep. AFRL-HE-WP-TR-1999-0235, pp. 97-102). Wright-Patterson AFB, OH: Air Force Research Laboratory.
- Miller, C. A. (1999). Bridging the information transfer gap: Measuring the goodness of information fit. *Journal of Visual Languages and Computing*, 10, 523-558.
- Miller, C. A., & Hannen, M. D. (1999). The rotorcraft pilot's associate: design and evaluation of an intelligent user interface for cockpit information management. *Knowledge-Based Systems*, 12, 443-456.
- Miller, C. A., & Vicente, K. J. (2001). Comparison of display requirements generated via hierarchical task and abstraction-decomposition space analysis techniques. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5(3), 335-355.
- Miller, C., & Funk, H. (2001). Associates with Etiquette: Meta-Communication to Make Human-Automation Interaction more Natural, Productive and Polite. In *Proceedings of the 8th European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control*, Sept. 24-26, Munich.
- Miller, C., Hannen, M., & Guerlain, S. (1999). The rotorcraft pilot's associate cockpit information manager: acceptable behavior from a new crew member. In *Annual Forum Proceedings - American Helicopter Society*, v. 2, 25-27 May 1999, pp. 1321-1332.
- Moroney, B. W. (1999). *An evaluation of unisensory and multisensory adaptive flight path navigation displays*. Unpublished dissertation. University of Cincinnati.
- Morris, N. M., & Rouse, W. B. (1986). *Adaptive aiding for human-computer control: Experimental studies of dynamic task allocation* (Report AAMRL-TR-86-005). Dayton, OH: Wright-Patterson Air Force Base.
- Morrison, J. G. (1993). *The adaptive function allocation for intelligent cockpits (AFAIC) program: Interim research and guidelines for the application of adaptive automation* (Tech. Rep. NAWCADWAR-93031-60). Warminster PA: Naval Air Warfare Center, Aircraft Division.
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, 39(2), 230-253.
- Parasuraman, R., Mouloua, M., & Hilburn, B. (1999) Adaptive Aiding and Adaptive Task Allocation Enhance Human-Machine Interaction. In M. W. Scerbo & M. Mouloua (Eds.), *Automation Technology and Human Performance: Current Research and Trends*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ.
- Parasuraman, R., Mouloua, M., Molloy, R. (1996). Effects of adaptive task allocation on monitoring of automated systems. *Human Factors*, 38(4), 665-679.
- Peachacek, J., & Weeb, R. (1996). Crewman's associate (CA) cognitive decision aiding (CDA) applications for the U.S. Army's future main battle tanks. *Expert Systems with Applications*, 11(2), 191-206.
- Pomerey, B. D., Spang, H. A., & Dausch, M. E. (1990). Event-based architecture for diagnosis in control advisory systems. *Artificial Intelligence in Engineering*, 5(4), 174-181.
- Popoli, R. (1992). The sensor management imperative. In Y. Bar-Shalom (Ed.), *Multitarget-Multisensor Tracking: Applications and Advances, Vol. II*. Norwood, MA: Artech House.
- Popoli, R., & Blackman, S. (1987). Expert system allocation for the electronically scanned array radar, *Proceedings of the American Control Conference 1987*, pp. 1821-1826.

- Prinzel, L. J., & Pope, A. T. (2001). *Empirical analysis of EEG and ERPs for psychophysiological adaptive task allocation*. NASA/TM-2001-211016. National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center, Hampton, VA.
- Prinzel, L. J., Pope, A. T., & Freeman, F. G. (2002). Physiological Self-Regulation and Adaptive Automation. *International Journal of Aviation Psychology*, 12(2), 179-196.
- Probert, A. (1997). Smart cockpit controller: The use of adaptive automation to improve aircrew survivability and mission effectiveness. In *Proceedings for The Second Annual Symposium and Exhibition on Situational Awareness in the Tactical Air Environment*, June 3-4, Naval Air Warfare Center Aircraft Division, Patuxent River, Maryland, pp. 81-86.
- Proctor, P. (1999). Smart cockpit keeps pilots inside safety envelope. *Aviation Week & Space Technology*, vol. 150, Feb 1, 82-83.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. New York, NY: North-Holland.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A. M., & Goodstein, L. P. (1994). *Cognitive Systems Engineering*. New York, NY: Wiley.
- Robertson, G. (2000) Flight demonstration of an associate system - A Rotorcraft Pilot's Associate example. *Proceedings of the American Helicopter Society 56th International Annual Forum*, May 2-4, Virginia Beach, VA, pp. 431-445.
- Rouse, W. B. (1988). Adaptive aiding for human/computer control. *Human Factors*, 30(4), 431-443.
- Rouse, W. B., & Rouse, S. H. (1983). *A framework for research on adaptive decision aids* (Tech. Report AFAMRL-TR-83-082). Wright-Patterson Air Force Base, OH: Air Force Aerospace Medical Research Laboratory.
- Salmond, D. J., & Gordon, N. J. (1999). Group and extended object tracking. O. E. Drummond (Ed.), *Signal and Data Processing of Small Targets 1999*, Proc. SPIE Vol. 3809, pp. 284-296.
- Sarter, N., Woods, D. D., & Billings, C. (1997). Automation surprises. In G. Salvendy (Red.), *Handbook of Human Factors/Ergonomics*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Scallen, S. F., Hancock, P. A., & Duley, J. A. (1995). Pilot Performance and Preference for Short Cycles of Automation in Adaptive Function Allocation. *Applied Ergonomics*, 26(6), 397-403.
- Schmorrow, D. D., & Kruse, A. A. (2002). Improving human performance through advanced cognitive system technology. In *Proceedings of Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference ITSEC'02*. December 2-5, Orlando, FL, pp. 1086-1092.
- Schubert, J. (2001). Reliable force aggregation using a refined evidence specification from Dempster-Shafer clustering. In *Proceedings of the 4th International Conference on Information Fusion (FUSION 2001)*, August 7-10, Montreal, Canada.
- Schulte, A., & Klöckner, W. (1997). Electronic crew assistance for tactical flight missions. In *Proceedings of the 4th Joint GAF/RAF/USAF Workshop on Human-Computer Teamwork*. September 23-26, Kreuth, Germany.
- Singer, G., & Dekker, S. W. A. (2000). Pilot performance during multiple failures: an empirical study of different warning systems. *Transportation Human Factors*, 2(1), 63-76.
- Smith, P. J., & Geddes, N. D. (2002). A Cognitive Systems Engineering Approach to the Design of Decision Support Systems. In J. A. Jacko & A. Sears (Eds.), *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*. Lawrence Erlbaum.
- Stiles, P., & Bodenhorn, C., & Baker, B. (1998). Decision aiding in Rotorcraft Pilot's Associate. In *Proceedings of the American Helicopter Society 54th Annual Forum*, pp. 1212-1224.
- Stiles, P., & Hoffman, M. (1997). Demonstrated value of data fusion and situation assessment. *Proceedings of the American Helicopter Society Annual Meeting*, Sept. 23-25, Alexandria, VA.
- Strömberg, D. (1999). On operator interfaces for data fusion and sensor management. *Proceedings of Eurofusion 99, International Conference on Data Fusion*, October 5-7, Stratford-upon-Avon, UK, pp. 251-258.

- Strömberg, D., & Lantz, F. (2003). Operator control of shared resources in sensor networks. In *Proceedings of the 6th International Conference on Information Fusion*, July 8-10, Cairns, Australia.
- Svenmarck, P. (1998). *Decision support in a fighter aircraft: from expert systems to cognitive modelling*. HFA Report 1998-04. Swedish Centre for Human Factors in Aviation: Linköping, Sweden.
- Svenmarck, P., Borg, S., Alfredson, J., Andersson, J., Skinnars, Ö., & Nevalainen, R. (1997). *Förarcentrerat stöd för omplanering*. HFA Paper 1997-01, Swedish Center for Human Factors in Aviation, Linköpings universitet.
- Svenmarck, P., Huang S. H., & Blasch E. P. (2000). Transparent neurofuzzy models of human performance. In M. E. Benedict (Ed.), *Proceedings of the 5th International Conference on Human Interaction with Complex Systems (HICS 2000)*, April 30-May 2, Beckman Institute, University of Illinois, Urbana: IL, pp. 165-169.
- Tannen, R. S. (1999). *Multimodal displays for target localization in a flight task*. Unpublished dissertation. University of Cincinnati.
- Tannen, R. S., Nelson, T. W., Bolia, R. S., Haas, M. W., Hettinger, L. J., Warm, J. S., Dember, W. N., & Stoffregen, T. A. (2000). Adaptive integration of head-coupled multi-sensory displays for target localization. *Proceedings of IEA 2000/HFES 2000 Congress*.
- USAF (1995). *New world vistas: Air and space power for the 21st century*. *Human Systems/Technology Volume*. US Air Force.
- Vertiflite (1999). Flying with experts - The Rotorcraft Pilot's Associate shows how expert systems can manage cockpit information. *Vertiflite*, 45(4), 18-21.
- Warner, N. W. (1997). Smart cockpit controller: The use of adaptive automation to improve aircrew survivability and mission effectiveness. In *Proceedings for The Second Annual Symposium and Exhibition on Situational Awareness in the Tactical Air Environment*, June 3-4, Naval Air Warfare Center Aircraft Division, Patuxent River, Maryland, p. 79.
- Westlund, J. (1996). Personlig kommunikation.
- Wilson, G. F., Lambert, J. D., & Russell, C. A. (1999). Performance enhancement with real-time physiologically controlled adaptive aiding. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 44th Annual Meeting*, pp. 3.61-3.64.
- Woods, D. D., & Sarter, N. B. (1995). How in the world did we ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control. *Human Factors*, 37(1), 5-19.
- Yeh, M., Wickens C. D., and Seagull, F. J. (1999). Target Cueing in Visual Search: The Effects of Conformality and Display Location on the Allocation of Visual Attention. *Human Factors*, 41(4), 524-542.