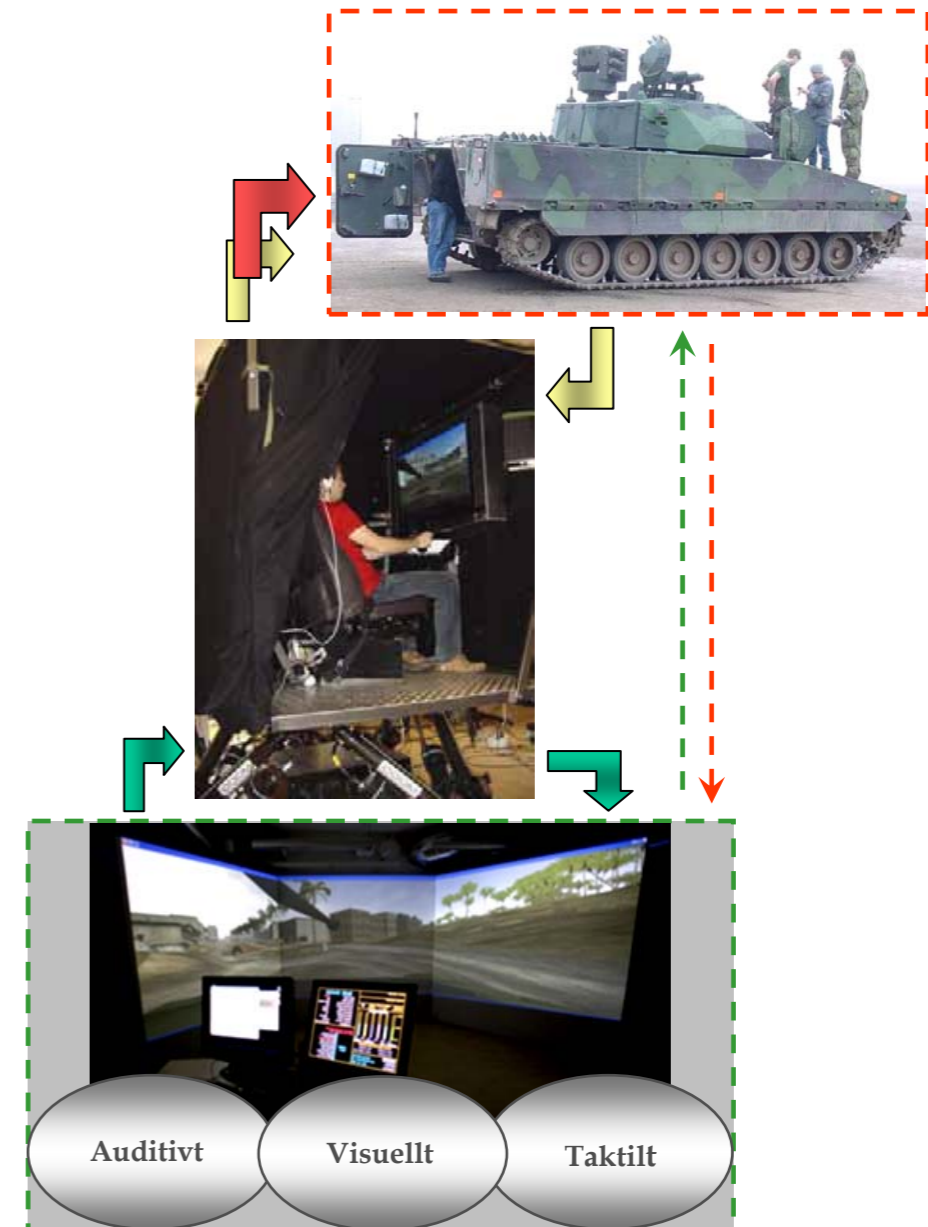


LARS ERIKSSON, BJÖRN LINDAHL, JOHAN HEDSTRÖM



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1250 anställda varav ungefär 900 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Lars Eriksson Björn Lindahl Johan Hedström

Konceptutveckling av operatörsstöd

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--2210--SE	Report type User report
	Research area code 8. Human Systems	
	Month year December 2006	Project no. E7152
	Sub area code 81 Human Factors and Physiology	
	Sub area code 2	
Author/s (editor/s) Lars Eriksson Björn Lindahl Johan Hedström	Project manager Lars Eriksson	
	Approved by Lena Bergvin	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Lars Eriksson	
Report title Concept development of operator supports		
Abstract <p>The project "Multimodal interfaces" involves the development of guidelines for operational adjustments of concepts for operator supports, and the present report deals with some general aspects of the concept development of display interfaces. The psychological construct situation awareness and other theoretical attempts of modelling human information processing for action and decision are brought in relation to the development of display interfaces. The concept development involves iterative processes at different levels of system and environment realism including real systems with end-users and experts.</p>		
Keywords Human Factors, Operator Supports, Displays, Multimodal Interfaces		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 26 p.	
	Price acc. to pricelist	

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--2210--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 8. Människa och teknik	
	Månad, år December 2006	Projektnummer E7152
	Delområde 81 MSI med fysiologi	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Lars Eriksson Björn Lindahl Johan Hedström	Projektledare Lars Eriksson	
	Godkänd av Lena Bergvin	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Lars Eriksson	
Rapportens titel Konceptutveckling av operatörsstöd		
Sammanfattning <p>Projektet "Multimodala gränssnitt" involverar framtagande av riktlinjer för operativ anpassning av koncept för operatörsstöd, och föreliggande rapport behandlar några övergripande aspekter av konceptutvecklingen av displaygränssnitt. Begreppet situationsmedvetenhet och andra teoretiska ansatser till modellering av människans informationsprocess för handling och beslut relateras till utvecklingen av displaygränssnitt. Konceptutvecklingen involverar iterativa processer på olika nivåer av system- och omgivningsrealism inklusive reella system med slutanvändare och experter.</p>		
Nyckelord Human Factors, Operatörsstöd, Displayer, Multimodala Gränssnitt		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 26 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

1. Inledning.....	7
2. Varför utveckla gränssnitt?	9
2.1 SA, informationsprocess och displaygränssnitt.....	9
2.2 Direktkoppling perception – handling och displaygränssnitt – prestation	11
2.3 Multimodalitet: Redundans och funktionsallokering	13
2.4 Och ... varför?	15
3. Delar av konceptutvecklingen.....	17
3.1 Laboratorieförutsättningar för experiment.....	17
3.2 Utvecklingsprocesser	19
3.3 Framtagna resultat	20
3.4 Vidareutveckling av simuleringsmiljön	21
4. Slutord.....	23
Referenser	25

1. Inledning

Projektet "Operatörsplatsen" (Eriksson, Carlander, Borgvall, Dahlman, & Lif, 2005) hade som inriktning att testa och utveckla koncept för displaygränssnitt. Målsättningen var att ge förutsättningar för operatörers förbättrade funktion och prestation genom auditiva, taktila och visuella displaygränssnitt för ett urval av plattformar och miljöer. M.a.o. syftade projektet till att lägga grunderna för några gränssnittskoncept vilka kan bidra till för operatören:

- Förbättrad situationsmedvetenhet (SA)
- Förbättrad prestation
- Lägre eller bibehållen mental arbetsbelastning

Koncepten avsågs därför följa grundprincipen att vara "intuitiva gränssnitt", dvs. gränssnitt vilka kan sägas kännetecknas av att de:

- Kapitaliserar på våra naturligt automatiserade funktioner
och därför
- Kräver ansträngningslöst eller liten grad av mänskligt informationsprocessande
vilket
- Hjälper operatören utföra uppgifter effektivt till en relativt liten grad av mental belastning

Studier och empiriska experiment utfördes med 3D audio och olika konfigurationer av taktila och visuella gränssnitt. Några av slutsatserna från projekt Operatörsplatsen handlade om:

"From the diver, the ship crew, the dismounted soldier, the ground vehicle crew, the operator in a command centre, the ranger parachutist, to the aviator, various configurations of more intuitive auditory, visual, and tactile displays could improve their SA and performance while lowering or maintaining mental workload. However, these configurations need to be tailored to operational environments and demands, including other vital systems used and even specific operator tasks and functions not directly included in the intended specific uses of the new displays."

Eriksson m.fl., 2005, s. 10.

Uppföljningen av verksamheterna genomförs i form av projektet "Multimodala gränssnitt", och involverar framtagande av riktlinjer för vidare operativ anpassning av koncepten för 3D audio och taktila gränssnitt i integration med visuella. Föreliggande rapport behandlar några övergripande aspekter av konceptutveckling av sådana displaygränssnitt.

2. Varför utveckla gränssnitt?

The Secret of Machines

*We can pull and haul and push and lift and drive,
We can print and plough and weave and heat and light,
We can run and race and swim and fly and drive,
We can see and hear and count and read and write ...*

*But remember please, the Law by which we live,
We are not built to comprehend a lie.
We can neither love nor pity nor forgive –
If you make a slip in handling us, you die.*

Hancock & Chignell, 1995, s. 14

2.1 SA, informationsprocess och displaygränssnitt

SA eller situationsmedvetenhet (i.e. "situation awareness") kan mer populärt uttryckas som "koll på läget":

"Although situation awareness (SA) has only recently become a subject of intense research, it was first recognized as early as World War I by Oswald Boelke ... Boelke realized 'the importance of gaining an awareness of the enemy before the enemy gained a similar awareness, and devised methods for accomplishing this' (Endsley, 1988, p. 97)."

Gilson, 1995, s. 3

Endsley (1995) definierar SA som *"the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future"* (s. 6). Således delas SA upp i tre på varandra följande nivåer i situationen:

- I. Perceptionen eller uppfattningen av de relevanta elementen och deras dynamik i omgivningen
(tolkning: *vad vem/vilket gör/utgör var i relation till egenläge i situationens dynamiska kontext*)
- II. Uppfattningen eller förståelsen av elementens innebörd
(tolkning: *elementens mer holistiska mönster ger avsikter, målsättningar, möjliga lägen och förutsättningar*)
- III. Prediktionen av elementens status i en nära framtid
(tolkning: *kunskap om elementens status och dynamik givet kunskap om situationen ger reducering av "handlings-/händelseutfallen" och därmed prediktion av framtida lägen och förutsättningar*)

SA kan anses som en förutsättning för effektivt beslutsfattande (nivå I, II och III) och ett resultat av den dynamiska kopplingen mellan perception och handling (nivå I och

II). Detta "psychological construct" och dess status har dock inte varit utan ifrågasättande:

"The increased research attention being paid to the construct has met with a fair amount of criticism. *Much of the scepticism is founded in a number of epistemological and experimental arguments, which generally center on the assumption that it is too subjectively a phenomenon to be measured objectively. Additionally, ... the casual inferences attributed to SA can be called into question on the grounds of circularity ...* [bold italics added] However ... others find SA a useful concept, something that has considerable significance for operational settings ... Also, most agree that SA can be inferred from actions (e.g. those obtained in designed simulations) and that such inferences will eventually yield strong underpinnings for a theoretical account of the phenomenon."

Gilson, 1995, s. 3

Flach (1995) menar att SA är värdefullt som *fenomenbeskrivning* då det (1) uppmärksammar den intima interaktionen mellan människa och omgivning avseende mening – det betydelsefulla – hos både de objektiva uppgiftsrestriktionerna (i.e. situationen) och den mentala tolkningen (i.e. medvetenheten), och (2) uppmärksammar perceptionens roll i problemlösning och beslutsfattande samt den intima och dynamiska kopplingen perception – handling (se även Smith och Hancock, 1995, för liknande resonemang). Ett varningens finger hålls upp:

"However, I caution against considering SA as a causal agent. *When SA is considered to be an object within the cognitive agent, there is a danger of circular reasoning in which SA is presented as the cause of itself.* [bold italics added] As a causal explanation, SA is a simple, easy-to-understand wrong answer that, in the end, will be an obstacle to research. As a phenomenon description, SA invites further research to discover causal relationships between the design of human-machine systems and the resulting performance ... To ignore SA and pretend that it did not exist would be as foolish as the circular reasoning in which it is seen as the cause of itself. *SA is not an answer but a real and important question that invites behavioural scientists to enrich their knowledge in ways that will have relevance for the design of effective human-machine systems.* [bold italics added] The test of the SA construct will be in its ability to be operationalized in terms of objective, clearly specified independent (Sm, stimulus manipulation) and dependent (Rd, response difference) variables."

Flach, 1995, s. 149-155.

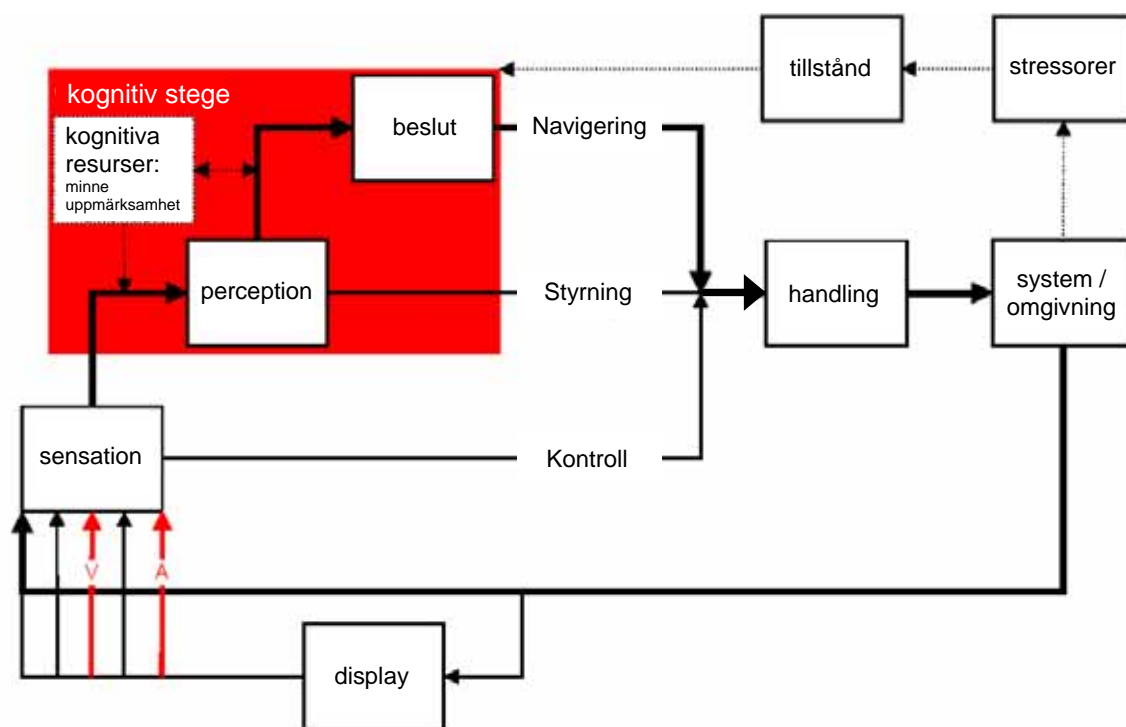
FOI MSI¹ har angripit SA ofta från ett globalt och lokalt prestationsperspektiv och visat på att det kan anses utgöra en länk mellan mental arbetsbelastning och prestation (e.g. Derefeldt, Skinnars, Alfredson, Eriksson, Andersson, Westlund m.fl., 1999; Svensson, Angelborg-Thanderz, Sjöberg, & Olsson, 1997; Svensson & Wilson, 2002). I detta har SA *i princip* operationaliserats i termer av specificerade markörer, variabler eller komponenter. Exempelvis Alfredson (2001) pekar på att en pilots tänkande representerar informationsprocessande med åtminstone fem komponenter (där SA egentligen är mer än summan av komponenterna). Varje komponent är integrerad med en uppsättning "feedback-loopar" där SA vid varje tidpunkt är determinerat av föregående lägen av SA. Komponenterna utgörs av: uppmärksamhet (vigilans, avkodning etc.), perception (aktiv sökning, identifiering etc.), minne (inkodning, lagring etc.), tolkning (mental modell, innebörd etc.) och predicering (mental simulering, prognos etc.).

¹ FOI, Institutionen för Människa-System Interaktion (förtvarande FOA, Avdelningen för Humanvetenskap).

Uppenbart är att SA *kan* utgöra en pragmatiskt viktig roll i modelleringen och förklaringen av den mänskliga informationsprocessen, *åtminstone* eftersom begreppet kan anses reflektera "an increased appreciation for the intimate coupling between processing stages (e.g., perception, decision, and action) within closed-loop systems" (Flach, 1995, s. 149). Avgörande för operatörens informationsprocess i människa-maskin system är vad, hur, när, och för vem displaygränssnitten representerar och presenterar "cues" eller information², och "SA invites further research to discover causal relationships between the design of human-machine systems and the resulting performance" (Flach, 1995, s. 149).

2.2 Direktpkoppling perception – handling och displaygränssnitt – prestation

"Prenav"³ utgör ett exempel på en modell för människans beteende vid navigering och kontroll av plattformar som inkluderar frågeställningar om och kopplingar mellan displaygränssnitt, mental belastning, extern stress och handlingsbeteende eller prestation (van Erp & Werkhoven, 2006). Figur 1 visar Prenav-modellen schematiskt.



Figur 1. Prenav – en modell av beteende vid kontroll och navigering av plattform. (Anpassad efter van Erp & Werkhoven, 2006.)

Prenav-modellen baseras på Sheridans modell för övervakningskontroll (1992), Wickens modell för informationsprocess (1984; Wickens & Hollands, 2000), Veltmans och Jansens modell för mental arbetsbelastning (2004) och Rasmussens modell för

² "Cues" kan (ungefär) förklaras som "mer eller mindre undermedvetna byggstenar eller ledtrådar till" *percept* som i sin tur kan ge *information* på kunskapsnivå.

³ "Prenav" – eller "före navigering" – kan sägas stå för de två "genvägar" i informationsprocessen som modellen beskriver, vilka helt eller delvis kopplar bort det medvetna beslutet (se modellen).

”skill-based, rule-based, knowledge-based” beteende (1982, 1983). De tjockare pilarna i figur 1 utgör den viktiga loopen för informationsprocessen [sensation (sinnesintryck) → perception (varseblivning) → beslut → handling] och via system/omgivning och displaygränssnitt tillbaka till sensation. De fem parallella pilarna in till sensation utgörs av olika modaliteter, såsom syn, hörsel och känsel, vilka processas parallellt *som lägst* på sinnesintrycksnivån. Perceptions- och beslutsnivåerna kallas för den kognitiva stegen, som kan påverkas av extern stress (i.e. ”stressorer”) via operatörens tillstånd. Exempel på stressorer kan vara vibrationer, G-belastning, nedsatt sikt etc. vilka kan påverka operatörens tillstånd fysiologiskt och psykologiskt (mental arbets-belastning). I Prenav finns det två genvägar genom looparna [sensation → handling → system/omgivning (→ display) → sensation] och [sensation → perception → handling → system/omgivning (→ display) → sensation].

Ett enklare exempel på beteende via genvägsloopen [sensation → handling → ...], som helt bortkopplar den kognitiva stegen genom *kontrollbeteende*, utgörs av balanshållning vid cykling som effekt av cues från cykelns (inneboende) instabila läge inmatat till bl.a. balansorganet (vestibulära systemet) och cues från det visuella flöde som uppstår från rörelser av omgivningens visuella textur vid framförandet av cykeln. (Kontrollbeteendet kännetecknas av reflexivt eller genom träning starkt automatiserat beteende.)

Den andra genvägen [sensation → perception → ...] processas inom den kognitiva stegen med exempelvis minnes- och uppmärksamhetskomponenter. Ett percept kan därmed direkt resultera i en handling, utan medvetet beslut, men kännetecknas av automatiserade implikationsregler (implikation: Om A Så B). Dvs. utifrån tidigare erfarenheter som automatiserats och ligger under tröskeln för det medvetna beslutet. Ett exempel på detta är om man ser en grop i färdvägen så svänger man undan, vilket då inte behöver involvera ett medvetet beslut men kräver en tolkning av den visuella informationen. Ett exempel på när man även behöver fatta ett medvetet beslut, vilket involverar hela informationsprocessen, är när man behöver göra ett vägval vid en korsning för att navigera rätt.

Modellen predicerar två potentiella flaskhalsar i relation till displaygränssnitt: sensorisk och kognitiv överbelastning. Sensorisk överbelastning förekommer då exempelvis de visuella eller auditiva kanalerna inte är tillgängliga eller är överbelastade; en pilot utför en flygmanöver på mycket låg höjd och samtidigt får prioriterad taktisk information på ”head-down” displayer. (Röda pilarna med ”V” och ”A” in till ”sensation” i figur 1 indikerar visuell resp. auditiv överbelastning.) Kognitiv överbelastning förekommer då utvärdering av information på visuella displayer sker så att minnes- och uppmärksamhetsresurser upptas, vilket i sin tur leder till att uppmärksamhetsberedskapen på omgivningen är mycket låg; en avsutten soldat som utvärderar orienteringsläget på digital karta under framryckning i fientligt terrängområde. Van Erp och Werkhoven (2006) menar att taktiska displayer kan överbrygga sensorisk och kognitiv överbelastning:

"Tactile displays may be a solution to both threats. Because the sense of touch is relatively underused in Human Computer Interaction, the threat of sensory overload may be reduced. Solving the threat of cognitive overload may be accomplished by using the sensation→action shortcut, therewith bypassing the cognitive ladder completely. This means that the sensation directly evokes the correct behaviour. Interestingly, many of our reflexes are based on the sense of touch ... In this paper, we introduced a model for human behaviour in platform navigation and control to predict the bottlenecks and sketch the proposed solution. Most of the predictions were confirmed by the validation studies done ... Therefore, tactile torso displays can potentially provide a major workload reduction and safety enhancement."

Van Erp & Werkhoven, 2006, s. 1689-1691.

Taktila displaygränssnitt är, rätt utformade för den specifika situationen, ett av flera exempel på *intuitiva gränssnitt* som kapitaliserar på våra naturligt automatiserade funktioner och därmed förknippas naturligt med bra SA och prestation till låg belastning. Även visuella och auditiva displaygränssnitt kan konstrueras så att de på ett liknande sätt blir mer intuitiva och kan "trigga reflexer eller kontrollbeteendet". Exempel utgörs av spatialt positionerad radiokommunikation och/eller hotvarningar med 3D audio, och vidvinkelpresenterade gränssnitt, med och utan visuellt flöde, för bättre stöd för spatial orientering samt förbättrad indikering av hot och mål (e.g. Carlander, 2006; Carlander & Eriksson, 2006; Eriksson, Tribukait, von Hofsten, & Eiken, 2006; Eriksson, Undén, & von Hofsten, 2005; Eriksson & von Hofsten, 2005).⁴

2.3 Multimodalitet: Redundans och funktionsallokering

Multisensorisk eller multimodal integrering refererar till kapaciteten att kombinera sensoriska signaler och sensorisk information som kommer från olika sinnesmodaliteter. Resultaten av denna integrering är (oftast) en mer felfri och säkrare representation av omgivning, kropp och relationen dem emellan:

"Many organisms, ourselves included, possess multiple sensory systems (e.g. not only various forms of vision, but also hearing, touch, proprioception, smell, taste, etc.) ... Combining information from different senses should, in principle, be beneficial whenever two or more modalities can offer statistically independent 'samples' concerning the same external event ... To give an evolutionary example, this might apply when, say, a predator or prey that was previously well-camouflaged becomes detectable, due to both the visual and auditory cues that are jointly emitted as they suddenly move through the undergrowth. If they had moved silently, or had made a noise but without shifting visually, they might instead have remained undetected ..."

Driver & Spence, 2004, s. v.

T.ex. syn och känsel kan kombineras för att estimeras eller bestämma objekts form och att se en talande persons läppar röra sig kan förbättra uppfattning och förståelse av talet. Integrationsprocessen sker helt undermedvetet men är inte desto mindre komplex. För det första, sensoriska modaliteters reliabilitet varierar stort beroende på kontext. Exempelvis bör hjärnan generellt sett förlita sig mer på auditiva cues i mörker, utan visuella hjälpmedel, och mer på visuella i dagsljus för att estimeras objekts positioner.

⁴ Notera att både *navigering* och *hotindikering* med taktilt displaygränssnitt, 3D audio eller visuellt gränssnitt här har samma principiella funktion, i.e. att indikera riktning (till brytpunkt eller inmätt hot).

Multisensorisk integrering är även komplex eftersom sinnesmodaliteterna använder olika format till inkodning av en och samma egenskap hos kroppen eller omgivningen. T.ex. kan det anses att sinnesmodaliteterna använder olika referensramar för inkodning, och integreringen kan inte utgöras av en enkel process med "medelvärdesberäkningar" av konvergerande sensoriska input. Visuella stimuli representeras av neuron med receptiva fält på ögats näthinna, auditiva stimuli representeras av neuron med receptiva fält runt huvudet, och taktila stimuli representeras av neuron med receptiva fält förankrat till huden. För att kunna kombinera dessa responser från olika sinnen med olika referensramar måste kroppsposition och rörelsen av kroppen i omgivningen tas i beaktande av hjärnans processer, och det bör dessutom finnas mekanismer för översättningar av responser givna inom olika referensramar för att integrering ska kunna ske.

Existensen av intermodala länkar om spatiala referensramar får stöd av att ett visuell stimulus nära ena handen drar till sig taktil uppmärksamhet vid den handen, och ett visuell stimulus attraherar auditiv uppmärksamhet vid positionen för det visuella stimulus oberoende av ögats position (e.g. Driver & Spence, 1998, 2000; Ernst & Banks, 2002; Ernst, Banks, & Bühlhoff, 2000; Ward, McDonald, & Lin, 2000). Givetvis är det också så att detta stöds av våra normala livserfarenheter och, till skillnad från bevisföring genom den experimentella psykologin, är dessa intermodala länkar mer eller mindre en intuitiv självklarhet för majoriteten:

"Our attention is often captured by the sudden and unpredictable sensory events that frequent our environment in which we live. For instance, we will normally turn our heads if someone suddenly calls our name at a crowded cocktail party. Similarly, if a mosquito lands on our arm, our eyes will be drawn immediately to the source of the unexpected tactile event. In these and many other such situations, objects that are initially processed in one sensory modality "grab" our attention in such a way as to enhance the sensory processing of stimuli presented in other sensory modalities at the same spatial location ... Research has demonstrated that the reflexive overt orienting of our attention conveys immediate cross-modal benefits: Not only do we *see* visual events more accurately at the fovea than in the periphery of our visual fields, but perhaps more surprisingly, we also *hear* and *feel* more acutely if we look ... there is now convincing empirical evidence that the covert orienting of exogenous attention that is triggered by the presentation of auditory, visual, or tactile cue stimuli can facilitate the perception of target stimuli presented subsequently at the cued location, no matter what their modality. In fact, cross-modal cueing effects have now been demonstrated behaviourally between all possible combinations of auditory, visual, and tactile cue and target stimuli ..."

Spence and McDonald, 2004, s. 3-4.

Varje dag utför vi mängder av undermedvetna processer där sensoriska signaler från olika modaliteter integreras. Det centrala nervsystemet (CNS) sorterar signalerna för att kombinera de som mest sannolikt kommer från en och samma källa, där kombinationen eller integreringen starkt determinerar de slutliga perceptuella upplevelserna och beteendet. Selektionen och integreringen av multisensoriska signaler i hjärnan (i.e. CNS) kan anses utgöra en optimeringsprocess som tillvaratar fördelarna med redundansen i cues eller information; variansen och felen i perceptuella estimat reduceras och sannolikheten för detektion av stimuli ökar (Bresciani, Ernst, Drewing, Bouyer, Maury, & Kheddar, 2005; Ernst & Bühlhoff, 2004). Varför sensorisk integrering starkt determinerar den perceptuella upplevelsen, och

därmed (eventuellt) beteenderesponsen, förklaras även delvis av förekomsten av multisensoriska neuron vilka aktiveras maximalt av temporalt och spatialt synkroniserade visuella, auditiva och taktila händelser (e.g. Eimer, 2004).

En förbättring av indikering av hot skulle därför kunna uppnås genom att integrera visuellt presenterad "intuitiv information" (se s. 12) med spatialt ljud - 3D audio - och/eller med taktilt presenterad information. Varningar om hot som utnyttjar sådan redundant information från "bi- eller multisensoriska displayer" har därför potential att förstärka och förbättra operatörens SA och responser på hot (e.g. Carlander & Eriksson, 2006; Eriksson, van Erp, Carlander, Levin, van Veen, & Veltman, 2006).

Multimodal presentation handlar dock inte enbart om att kombinera samma typ av information från flera sinnesmodaliteter utan kanske framförallt att fördela - allokera - olika typer av information på olika sinnesmodaliteter. "Peak performance" kräver att man undviker sensorisk och kognitiv överbelastning. Genom multimodal funktionsallokering kan man bättre undvika överbelastning och bättre stödja "peak performance", inte minst genom att utnyttja gränssnitt som är (mest) *intuitiva*, se avsnitt 2.2, för respektive modalitet:

"Through multimodal interfaces an effective sensory allocation and redundancy coding can form the foundation for precision, interactivity and flexibility in applications such as communications, control rooms, cockpit systems ... especially radio communication is and has been a central issue for the 3D audio technology ... Our sensory channel for touch offers a similar omni-directionality and intuitiveness as sound."

Carlander, 2006, s. 17-20.

Speciellt "Multiple Resource Theory" (Small, Wickens, Oster, Keller & French, 2004; Wickens, 1984; Wickens & Hollands, 2000; se även Linde, 1998) är intressant i sammanhanget då den föreslår att (a) vi har flera oberoende resurser för informationsprocessande, (b) vissa resurser kan lättare utnyttjas samtidigt med parallellprocessande, och vissa passar sämre för samtidig utnyttjande (sekventiellt processande), (c) uppgifter som upptar kompatibla resurser (tillåter parallellprocess) kan vanligtvis utföras samtidigt, och (d) konkurrens om samma sinnesmodalitet kan producera interferens. Mer specifika hypoteser kan formuleras, och har experimentellt prövats, utifrån graden av uppgiftsinterferens baserat på till vilken grad uppgifter delar exempelvis sinnesmodalitet, koder, och typer av informationsprocessande (se Wickens och Hollands, 2000, för *några* exempel).

2.4 Och ... varför?

Forskning om och utveckling av operatörsstöd eller displaygränssnitt kan enligt ovan, utifrån teori om och modeller av operatörens beteende och prestation, generellt sett motiveras utifrån att förbättrade "informationspresentationer" kan ge snabbare och tillförlitligare responser, bättre SA, lägre belastning och bättre beslut (samt t.o.m. signifikant bidra till överlevnad). Dessutom *måste* forsknings- och utvecklingsprocessen möjliggöra att gränssnitten blir "*tailored to operational environments and demands, including other vital systems used and even specific operator tasks and functions not directly included in the intended specific uses of the new displays*" (Eriksson m.fl., 2005,

s. 10). Slutmålet "maximal systemeffekt"⁵ uppnås genom iterativ experimentering, analys, utveckling och värdering med "man-in-the-loop", och för att iterativt pröva och utveckla koncept för användbara displaygränssnitt i system behövs vissa grundläggande förutsättningar och processer (nästkommade kapitel ger exempel).

⁵ "System" avser här i första hand människa – maskin, med eller utan automation, men involverar grupp (människa-människa-maskin), organisation, doktrin etc. till ökande grad i utvecklingsprocessens framskridande.

3. Delar av konceptutvecklingen

3.1 Laboratorieförutsättningar för experiment

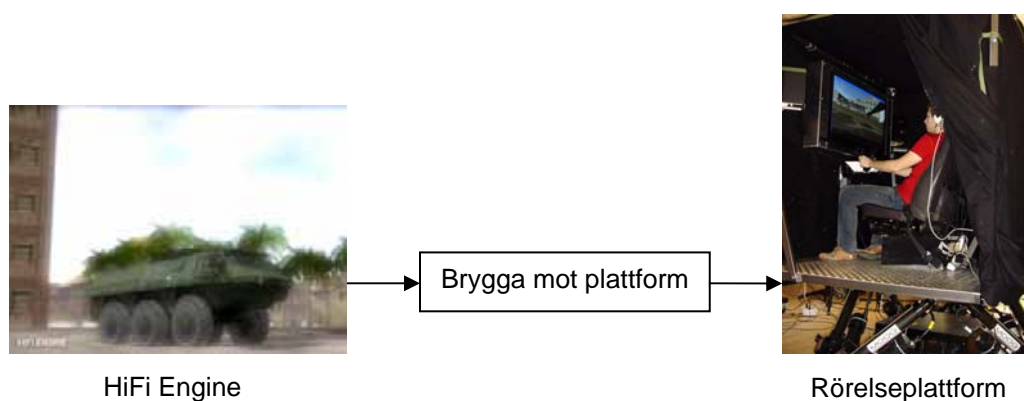
Vid FOI MSI har under de senaste åren ett laboratorium ämnat för experimentverksamhet byggts upp. Syftet är att ha en dedikerad miljö där experiment, provningar och utvärderingar snabbt ska kunna konstrueras och genomföras under kontrollerade former. Detta är ett måste för att kunna vara ett effektivt stöd för t ex. FM då möjligheten att nyttja FM: s materiel och personal kan vara väldigt begränsad. Ett exempel är Stridsfordon 90 Teknik Demonstrator (Strf90 TD) vid MSS Skövde. För att kunna genomföra experiment på ett så effektivt vetenskapligt och ekonomiskt sätt som möjligt i Strf90 TD krävs möjlighet till att genomföra förförsök och demonstrationer i syfte att eliminera bl.a. felanpassningar. Viktigast är att experiment i laboratorium, med varierande grad extern validitet, behövs för att de utgör en viktig bas för den iterativa provningen och utvecklingen (se avsnitt 2.2. och 3.2).

Genom FOI MSI lab. finns modifierbara operatörmiljöer, med mätinstrument, datorer, displayer (visuella, auditiva, taktila) etc., inklusive möjligheten att montera miljön på en rörelseplattform. Eftersom operatören nu kan utsättas för rörelse under experiment efterliknas verkligheten ytterligare och kan därmed inkludera exempelvis "stressorer" förknippade med rörelse och vibrationer (se avsnitt 2.2). All hårdvara har integrerats med en egenutvecklad simuleringsmotor - "HiFi Engine" - som knyter samman utrustningen.

HiFi Engine gör det möjligt att kombinera realistisk omvärldspresentation med detaljerad fysiksimulering för fordon och att sammankoppla simuleringarna med andra simulatorer över HLA etc. HiFi Engine bygger på flera olika öppna källkodsprojekt som integrerats med egenutvecklad källkod. Vart och ett av de öppna källkodsprojekten har fokus på att lösa egna specialområden och genom att integrera dessa får man på ett kostnadseffektivt sätt en kraftfullare simuleringsmiljö än vid enbart egenutveckling. Ett av dessa källkodsprojekt (ODE) hanterar fysiken för alla objekt i simuleringen såsom exempelvis fysik för fordon. Det handlar om att korrekt beräkna hur allt från varje enskilt hjul påverkas av ojämnheter i terrängen till att hela fordon inte åker genom andra objekt samt uppträder naturtroget vid framförande. För att få dessa realistiska rörelser på rörelseplattformen för exempelvis ett Strf90 krävs ett hjälpsystem för fordonsfysik som i HiFi Engine utgörs av ODE. Dessutom krävs att fysiksystemet har snabb respons och inte bidrar med för stora fördröjningar eftersom rörelseplattformen kräver en kontinuerlig uppdatering med rörelseinformation för att ge mjuka rörelser.

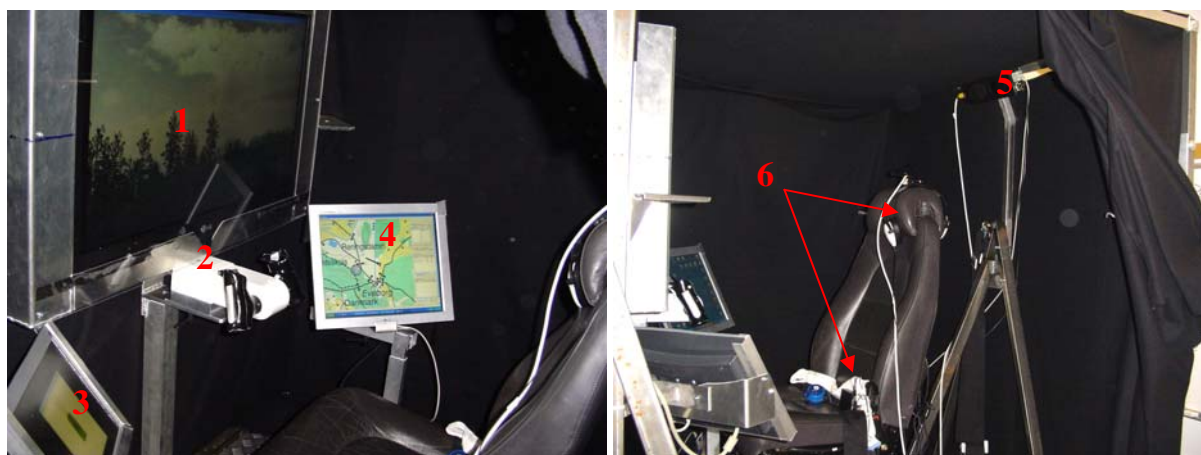
Rörelseplattformen kräver dessutom att den matas med 60Hz rörelseinformation för att inte återgå till "standby"-läge, och i syfte att kunna uppfylla detta krav har en applikation som kommunicerar med rörelseplattformen tagits fram. Denna körs på en separat dator för att inte störas av andra applikationer, som annars kan leda till att kommunikationen med plattformen inte sker tillräckligt snabbt, och alla andra applikationer såsom t ex HiFi Engine kommunicerar således med denna brygga för att överföra rörelseinformation till rörelseplattformen, se figur 2 nedan. Från

”fysikhanteraren” som ansvarar för fordonets beteende tas fordonets accelerationer utmed koordinataxlarna för rotation och förflyttning ut och överförs till rörelseplattformen. Vidare har man i HiFi Engine möjlighet att bemanna en plattform med flera användare. I Strf90 fallet kan då t.ex. skytt, vagnchef och förare placeras vid olika operatörsstationer. Simuleringar kan dessutom utökas till att innefatta fler plattformar med olika besättningar. I situationer där operatören har större frihetsgrad vad gäller utblickar i den visuella omgivningen finns möjligheten att ansluta en huvudmonterad display (HMD) till HiFi Engine. En sådan situation är stridsflygsimulering där piloten har helt andra utblicksmöjligheter än i fallet med en stridsfordonsförare.



Figur 2. Schematisk beskrivning av rörelseinformationens flöde skickat från HiFi Engine via bryggapplikationen till rörelseplattformen.

En del i labbet utgörs av den generiska operatörmiljö som tagits fram och målet är att den enkelt ska kunna modifieras för anpassning till experiment med godtycklig plattform. Operatörmiljön har dock hittills huvudsakligen anpassats för att bl.a. möjliggöra studiet av alternativa displaygränssnitt för en operatör i Strf90. Se operatörmiljön i figur 3.

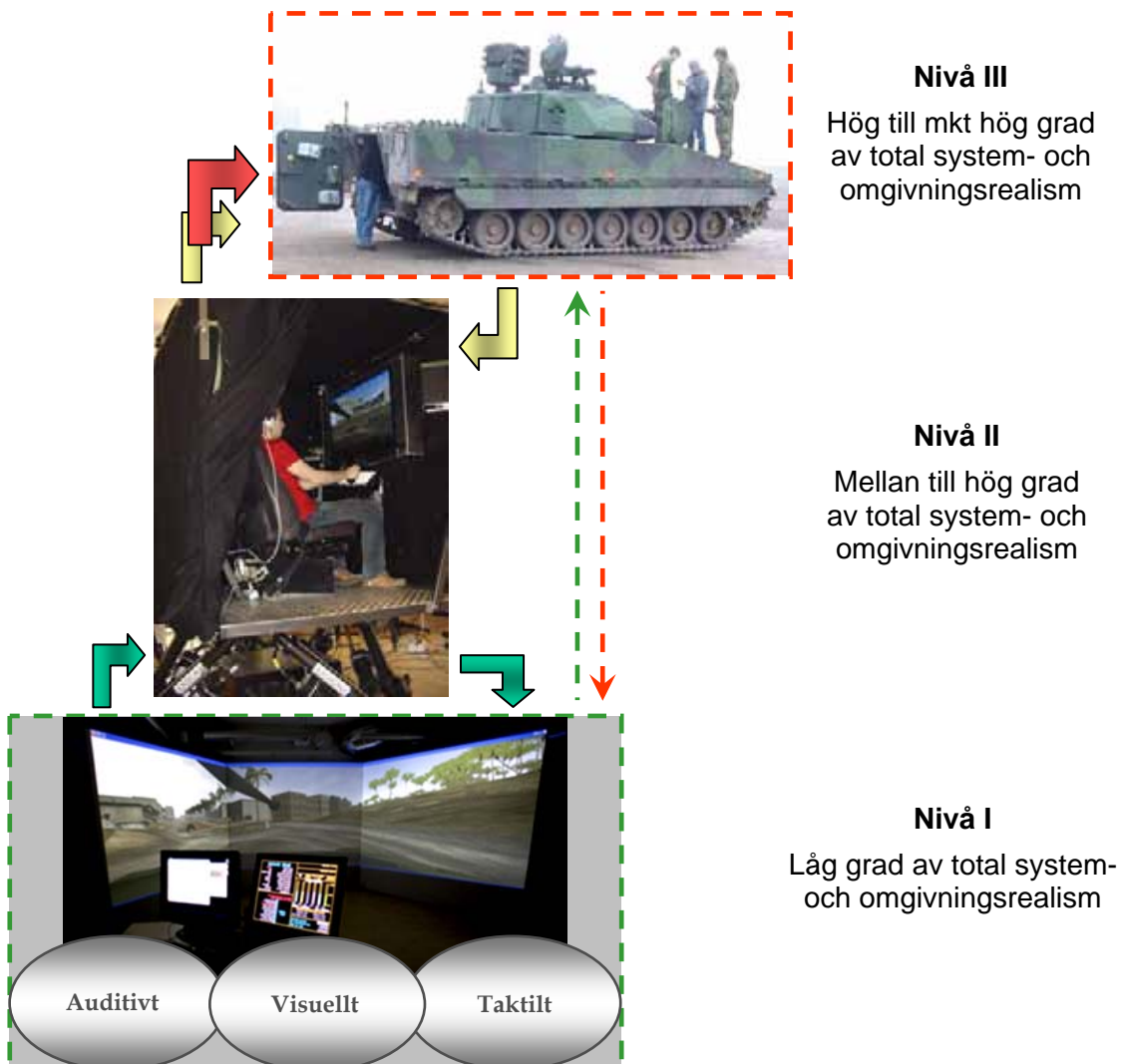


Figur 3. Operatörmiljön anpassad för Strf90 med (1) omvärldsblick, (2) styrkon, (3) hotinformation, (4) pekskärm, (5) head-tracker, och (6) 3D audio och taktilt bälte för auditiv resp. taktilt displaygränssnitt.

På en stor bildskärm rakt framför operatören (1) presenteras den omvärld fordonet framförs i och för att styra fordonet används en replika av ett styrdon (2). Operatören har dessutom två displayer (skärmar), en till höger och en till vänster. Den vänstra skärmen (3) presenterar en 2D-bild på stridsfordonet och den högra (4) är en pekskärm som exempelvis kan användas för att som på bilden visa ett ledningssystem. Med relativt mindre modifieringar är det fullt möjligt simulera andra typer av markfordon, flyg samt marina farkoster. Då rörelseplattformen har begränsat rörelsespann finns dock vissa begränsningar vid flygsimuleringar (gäller speciellt stridsflyg).

3.2 Utvecklingsprocesser

Figur 4 illustrerar schematiskt konceptutvecklingen av displaygränssnitt för de auditiva, visuella och taktila sinnen med tillämpning för Strf90.



Figur 4. Schematisk beskrivning av konceptutveckling av auditiva, visuella och taktila displaygränssnitt (med Strf90 som tillämpningsexempel).

De iterativa processerna är uppdelade i nivå I, II och III, och nivå II och III loopar tillbaka till föregående nivå. Nivå I har även direktkoppling med III genom att uppgiftsanalyser utförs och "subject matter experts" (SMEs) och användare från Markstridsskolan utnyttjas under flera designcykler. Vad som utmärker nivåerna är framförallt graden av total realism avseende system och omgivning, med stigande grad från I-III. Nivå III motsvaras här av miljön i Strf90 TD, nivå II av miljön i Strf90 simulator med rörelseplattform, och nivå I av mer avskalade lab. experiment med grundläggande prövning av hur effektiv kopplingen är mellan gränssnitt och prestation. SMEs och slutanvändare kan med fördel utnyttjas i studier och experiment på varje nivå och försökspersoner utan någon egentlig expert- eller domänkunskap utnyttjas vid nivå I och II.

Fördelarna med den iterativa processen över flera sådana nivåer är att koncept kan demonstreras, prövas och anpassas genom "prototyplösningar" eller "analogilösningar" avsedda för implementering när teknisk funktion är redo. Vedertaget är att analogilösningar används i simulatorer från "low-fidelity", eller "low-end", till "high-fidelity", eller "high-end", när man utprövar ny teknik och nya gränssnittslösningar. Nya koncept- eller principlösningar som inte är mogna att fullt ut implementeras prövas därmed. Därmed finns inte bara potentialen för att påskynda och säkra prövning, tillpassning och utveckling samt implementering, utan den totala ekonomin för forskning och utveckling blir även tilltalande mycket lägre.

I slutstegen avses displaygränssnitten överlämnas implementerade så att de tillåter finjusteringar av användarna själva (och helst även tillåter större förändringar som egentligen t.o.m. kan leda till förändringar av koncepten, e.g. i beaktande av system- och taktikförändringar etc.).

3.3 Framtagna resultat

Exempel på experimentresultat med uni-, bi- eller multimodala gränssnitt på olika nivåer, enligt ovan, och för tillämpning i Strf90 ges inte här. Exempel på nivå I ges i Carlander, Eriksson och Kindström (2006) som bl.a. ger några resultat från lab. om till vilken upplösning det är möjligt lokalisera 3D audio presenterade stimuli i horisontalplanet, och Carlander och Eriksson (2006b) som också bl.a. ger några resultat om till vilken upplösning man kan lokalisera 3D audio och/eller taktilt presenterade riktningar till hot samt hur snabbt man reagerar. Exempel på nivå II ges i Carlander, Eriksson och Oskarsson (2006) där ovan nämnda rörelseplattform utnyttjas för att undersöka hotindikering unimodalt, visuellt, 3D audio *eller* taktilt, och multimodalt med kombinerad presentation av visuellt, 3D audio *och* taktilt. Exempel på nivå III ges i Carlander och Eriksson (2006a, b) där Strf90 TD utnyttjas avseende uni- och bimodal presentation av hot med 3D audio och/eller taktilt displaygränssnitt.

3.4 Vidareutveckling av simuleringsmiljön

EWSim (Electronic Warfare Simulation interface model) är en simuleringsmiljö utvecklad av FOI Institutionen för Telekrigvärdering vilken används för att kunna genomföra systemutvärdering och simulera telekrigssystem med bl.a. duell-simulering dem emellan (Tydén, Appleby, Andersson, Bergman, Festin, Haavisto m.fl., 2005). HiFi Engine har inom projektet "Duellsimulering Telekrig" kopplats samman med EWSim. Det är därför möjligt göra mer användarnära systemutvärderingar där den direkta effekten av systemen för operatören kan studeras, samtidigt med att MSI:s simuleringsmiljö ger tillgång till mer realistisk simulering av sensorer och annan telekrigsutrustning som EWSim tillhandahåller. Sammantaget gör detta att användarna kan presenteras med mer holistiskt korrekta systembeteenden än vad tidigare varit möjligt. Som synergieffekt av sammankopplingen av två vitt skilda simuleringsmotorer finns därför nu en mångfaldigt mycket mer kraftfull simuleringsmiljö att tillgå.

4. Slutord

Operationalisering av mer diffusa "psychological constructs", såsom SA och liknande, bör explicitgöras så att det fokuserar på prövbarhet och utveckling av displaygränssnitt och hela systems inverkan på handling och beslut. Detta gäller plattformar. Det gäller den avstutne soldaten. Och, det gäller ledningsmiljöer:

"If we are to safely explore the edges of chaos in emergent 'human-machine' landscapes, we must 'engineer' in the success of the many strategies that originally made humans so successful ... in altering the energetic 'landscape,' technology introduces a number of pitfalls, *sui generis*. It is not merely that the steamroller of technology rearranges the landscape, BUT that it puts in its own (frequently hidden) catastrophic potential ... so easily recognized *post hoc* but frequently so hard to identify *a priori*."

Hancock & Chignell, 1995, s. 41-42.

I utvecklingen av koncept för displaygränssnitt är viktiga delar av verksamheten för Human Factors, eller MSI, givetvis, utifrån teori om och modeller av operatörens sensation, perception, kognition och beteende, att utföra iterativ experimentering, analys, utveckling och värdering med "man-in-the-loop". Utnyttjandet av olika typer av simuleringar från "low-end" till "high-end", med iterativa cykler inkluderande reella system med slutanvändare och experter, bidrar starkt till att ge oss de rätta förutsättningarna att påvisa vad Human Factors utgör:

"It is the science of fitting the job to the worker and learner as well as fitting machines to people. It transcends limited engineering formulations of the user-machine relationship and deals pre-eminently with how people have created themselves by systematically human-factoring their environment."

Karl Smith, 1987, från Hancock & Chignell, 1995, s. 48.

Referenser

- Alfredson, J. (2001). *Aspects of situational awareness and its measures in an aircraft simulation context*. Licentiate thesis Linköping Institute of Technology, Linköping University. LiU-Tek-Lic-2001:2. ISBN 91-7219-918-0.
- Carlander, O. (2006). *3D audio – toward an intuitive interface – uni- and bimodal investigations*. Licentiate thesis Chalmers University of Technology, Göteborg University. Technical report No. 28L. ISSN 1652-8726X.
- Carlander, O., & Eriksson, L. (2006a). Uni- and bimodal threat cueing with vibrotactile and 3D audio technologies in a combat vehicle. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting* (pp. 1552-1556). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Carlander, O., & Eriksson, L. (2006b). Target acquisition with vibrotactile and 3D audio cueing in a combat vehicle. (Manuscript in preparation.)
- Carlander, O., Eriksson, L., & Kindström, M. (2006). Horizontal localisation accuracy with COTS and professional 3D audio display technologies. In *Proceedings of the IEA Conference 16th World Congress on Ergonomics*, 10-14 July, Maastricht, The Netherlands.
- Carlander, O., Eriksson, L., & Oskarsson, P.-A. (2006). Handling uni- and multimodal threat cueing with simultaneous radio calls in a combat vehicle setting. (Accepted for presentation at the 12th International Conference on Human-Computer Interaction, Beijing, 2007.)
- Bresciani, J. P., Ernst, M. O., Drewing, K., Bouyer, G., Maury, V., & Kheddar, A. (2005). Feeling what you hear: Auditory signals can modulate tactile tap perception. *Experimental Brain research*, Vol. 162, 172-180.
- Derefeldt, G., Skinnars, Ö., Alfredson, J., Eriksson, L., Andersson, P., Westlund, J., Berggrund, U., Holmberg, J., & Santesson, R. (1999). Improvement of tactical situation awareness with colour-coded horizontal-situation displays in combat aircraft. *Displays*, 20, 171-184.
- Driver, J., & Spence, C. (1998). Cross-modal links in spatial attention. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B, Biology Science*, 353, 1319-1331.
- Driver, J., & Spence, C. (2000). Multi-sensory perception: Beyond modularity and convergence. *Current Biology*, 10, R731-R735.
- Eimer, M. (2004). Multisensory integration: How visual experience shapes spatial perception. *Current Biology*, 14(R), 115-117.
- Endsley, M. R. (1988). Design and evaluation for situation awareness enhancement. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 32nd Annual Meeting* (pp. 125-137). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Endsley, M. R. (1995). Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 65-84.
- Eriksson, L., Carlander, O., Borgvall, J., Dahlman, J., & Lif, P. (2005). *Operator Site 2004 – 2005*. FOI, Swedish Defence Research Agency: Command and Control Systems. FOI-R--1871--SE.
- Eriksson, L., Tribukait, A., von Hofsten, C., & Eiken, O. (2006). On reducing the somatogravic illusion with HMD conveyed visual flow. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting* (pp. 1599-1603). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Eriksson, L., Undén, K., & von Hofsten, C. (2005). Towards wide-field display of the Gripen HUD interface to combat spatial disorientation. In *Proceedings of the 13th International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 225-230). Dayton, OH: Wright State University.
- Eriksson, L., van Erp, J., Carlander, O., Levin, B., van Veen, H., & Veltman, H. (2006). Vibrotactile and visual threat cueing with high G threat intercept in dynamic flight simulation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting* (pp. 1547-1551). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Eriksson, L., & von Hofsten, C. (2005). Effects of visual flow display of flight maneuvers on perceived spatial orientation. *Human Factors*, 47(2), 378-393.
- Ernst, M., & Banks, M. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, 415, 429-433.
- Ernst, M., Banks, M., & Bühlhoff, H. H. (2000). Touch can change visual slant perception. *Nature Neuroscience*, 3, 69-73.

- Ernst, M., & Bühlhoff, H. H. (2004). Merging the senses into a robust percept. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 8(4), 162-169.
- Flach, J. M. (1995). Situation awareness: Proceed with caution. *Human Factors*, 37(1), 149-157.
- Gilson, R. D. (1995). Special issue preface. *Human Factors*, 37(1), 3-4.
- Hancock, P. A., & Chignell, M. H. (1995). On human factors. In J. Flach, P. Hancock, J. Caird, & K. Vicente (Eds.), *Global perspectives on the ecology of human-machine systems* (pp. 14-53). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Linde, L. (1998). Informationsöverföring i ett beteendevetenskapligt människa-system perspektiv. FOA, Försvarets forskningsanstalt: Humanvetenskap. FOI-R—97-00500-503--SE.
- Rasmussen, J. (1982). Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4, 311-333.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge: Signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC 13(3), 257-266.
- Sheridan, T. B. (1992). *Telerobotics, automation, and human supervisory control*. Cambridge: MIT Press.
- Small, R. L., Wickens, C. D., Oster, A. M., Keller, J., & French, J. W. (2004). *Multisensory integration for pilot spatial orientation*. Report AF03-061, AFRL/HECI, Crew Systems Development Branch, Wright Patterson AFB, OH, USA.
- Smith, K., & Hancock, P. A. (1995). Situation awareness is adaptive, externally directed consciousness. *Human Factors*, 37(1), 137-148.
- Spence, C., & Driver, J. (2004). Introductory comments. In C. Spence and J. Driver (Eds.), *Crossmodal space and crossmodal attention* (p. v). New York: Oxford University Press, Inc.
- Spence, C., & McDonald, J. (2004). The cross-modal consequences of the exogenous spatial orienting of attention. In G.A. Calvert, C. Spence, and B.E. Stein (Eds.), *The handbook of multisensory processes* (pp. 3-25). Cambridge, MA, and London: The MIT Press.
- Svensson, E., Angelborg-Thanderz, M., Sjöberg, L., & Olsson, S. (1997). Information complexity - mental workload and performance in combat aircraft. *Ergonomics*, Vol. 40, 362-380.
- Svensson, E., & Wilson, G. F. (2002). Psychological and psychophysiological models of pilot performance for systems development and mission evaluation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 12(1), 95-110.
- Tydén, L., Appleby, N., Andersson, H., Bergman, J., Festin, L., Haavisto, D., Hedberg, C., Nordin, M., Olsson, S., Petersson, M., Svensson, P., & Wigren, C. (2005). *Slutrapport duellsimulering telekrig*. FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut: Ledningssystem. FOI-R--1775--SE.
- Van Erp, J. B. F., & Werkhoven, P. (2006). Validation of principles for tactile navigation displays. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting* (pp. 1687-1691). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Veltman, J. E., & Jansen, C. (2004). The adaptive operator. In D.A. Vinzenci, M. Mouloula, & P. Hancock (Ed.s), *Human performance, situation awareness and automation technology (HPSAA II)*, Vol. II, 7-10.
- Ward, L. M., McDonald, J. J., & Lin, D. (2000). On asymmetries in cross-modal spatial attention orienting. *Perception & Psychophysics*, 62, 1258-1264.
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D.R. Davis (Eds.), *Varieties in attention* (pp. 63-102). London: Academic Press.
- Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). *Engineering psychology and human performance*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.