



QATEP: Quick Access Target Eye Pointer

Förstudierapport

STEPHEN O'CONNELL, BOSSE RYDBECK, MARTIN CASTOR,
JERRY POUSETTE, BJÖRN ENGLUND, MARTIN GEJKE, MARTIN KRANTZ



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



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Informationssystem
Box 1165
581 11 Linköping

Tel: 013-37 80 00
Fax: 013-37 81 00

www.foi.se

FOI-R--3198--SE Metodrapport
ISSN 1650-1942 April 2011

Informationssystem

Stephen O'Connell, Bosse Rydbeck, Martin
Castor, Jerry Pousette, Björn Englund, Martin
Gejke, Martin Krantz

QATEP: Quick Access Target Eye Pointer

Förstudierapport

Titel	QATEP: Quick Access Target Eye Pointer - Förstudierapport
Title	QATEP: Quick Access Target Eye Pointer - Pilot Study
Rapportnr/Report no	FOI-R--3198--SE
Rapporttyp Report Type	Metodrapport
Sidor/Pages	40 p
Månad/Month	April
Utgivningsår/Year	2011
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	VINNOVA
Projektnr/Project no	B55015
Godkänd av/Approved by	Hans Frennberg

Sammanfattning

QATEP (Quick Access Target Eye Pointer) är ett projekt inom NFFP 5 programmet (Nationellt Flygforskningsprogram), finansierat via VINNOVA (dnr 2009-01358). Inom QATEP-projektet utvecklar och utvärderar FOI med underleverantör MILSO, samt Smart Eye, det så kallade QATEP-konceptet. QATEP-konceptet bygger på de senaste årens tekniska landvinningar inom ögonrörelsemätning. Avsikten är att se hur den innovativa QATEP-lösningen kan användas för målutpekning i flygplan.

Föreliggande rapport beskriver den förstudie som genomförts inom projektet där grundläggande förutsättningar vad gäller tekniska prestanda och hinder analyserats. Rapporten innehåller bl.a. en teknisk redogörelse för mätprestanda under de tester som genomförts i FLSC (Flygvapnets Luftstridssimuleringscenter) vid FOI. Rapporten beskriver också kortfattat den mobila demonstrator som projektet utvecklat, samt den kommande utvärderingen av systemet vid FLSC. Slutligen berörs framtida möjlig teknikutveckling som skulle kunna underlätta en skarp systeminstallation.

Nyckelord: QATEP, ögonrörelser, sensorer, luftstrid, målutpekning, JAS 39 Gripen, HMD

Summary

QATEP (Quick Access Target Eye Pointer) is a project within the Swedish National Program for Aviation Research (Nationellt Flygforskningsprogram, NFFP), funded by VINNOVA (ref no 2009-01358). Within the QATEP project, the Swedish Defence Research Agency (FOI) develops and evaluates, together with subcontractor MILSO and partner Smart Eye, the QATEP concept. This concept is based on the recent years' significant development progress made in the field of eye tracking. The purpose is to examine how the innovative QATEP solution can be used for target designation in fighter aircraft.

The present report describes the completed pilot study, in which fundamental requirements regarding system performance and limitations have been analyzed. The report contains a technical description of tracking performance studies that have been performed at the Swedish Air Force Combat Simulation Center (FLSC). In addition, the report briefly describes the portable QATEP system demonstrator which has been developed within the project, and also describes the upcoming evaluation of the concept. Finally, some possible future technical development paths that may facilitate installation in actual aircraft are discussed.

Keywords: QATEP, eye tracking, sensors, air combat, target designation, JAS 39 Gripen, HMD

Innehållsförteckning

1	Introduktion	7
1.1	QATEP-projektet	7
1.2	Roller i luftstrid	7
1.3	Målangivelse i stridsflygplan	8
1.4	Ögonrörelsemätning	9
1.5	Funktionalitet	9
1.6	Krav	9
2	Teknisk beskrivning	11
2.1	Användarmiljöns förutsättningar	13
2.1.1	Solvisir och reflexer	13
2.1.2	Vibrationer	14
2.1.3	Påverkan av G-krafter	14
2.2	Kamerakonfigurationer	15
2.2.1	6-kamerasystem	15
2.2.2	Simulerat 9-kamerasystem	16
2.3	Definitioner	17
2.3.1	Kamerakoordinatssystem (CCS)	17
2.3.2	Världskoordinatssystem (WCS) och rotationsbas (RB)	17
2.3.3	Huvudkoordinatssystem (HCS) och huvudpose	18
2.3.4	Blickriktningsstråle	18
2.3.5	Ögonöppning (Eyelid opening)	18
2.3.6	Mätvolym (Head box)	18
2.4	Prestandamätningar	18
2.4.1	Tillgänglighet	19
2.4.2	Noggrannhet	20
2.4.3	Precision	22
2.4.4	Fixationer	24
2.5	Diskussion	25
2.5.1	Tillgänglighet	25
2.5.2	Noggrannhet	26
2.5.3	Precision	26
2.5.4	Förbättringsmöjligheter	26
2.5.5	Sammanfattning av resultat	26
3	Slutsats och erfarenheter	29
3.1	Metodutveckling	29
4	Vidareutveckling inom projektet	31
4.1	Utvärdering	31

4.2	Simulatorintegration	32
4.3	Marknadsföring och konceptdemonstrator	32
5	Framtida utveckling	35
5.1	Ögonrörelsemätningssystem	35
5.1.1	Miniaturisering av nuvarande kamerasystem	35
5.1.2	Hjälmonterade kameror och tracking av hjälm	35
5.2	MMI och gränssnitt.....	35
	Referenser	37
	Bilaga A. Tabell över mätresultat	39

1 Introduktion

1.1 QATEP-projektet

Utveckling av koncept och teknik för huvudburna presentationslösningar (Helmet Mounted Display, HMD) har pågått sedan 60-talet och flera generationer av prototyper och system har utvecklats. En modern sammanfattning finns i Rash, Russo, Letowski & Schmeisser (2009). För t.ex. Apache-helikoptern har hjälm-buret sikte funnits sedan 1984. För högprestanda-flygplan som JAS Gripen och F35 har också flera system utvecklats och relativt nyligen nått en mognadsnivå som gör att de kan införas på skarpa system. Faktorer som G-belastning och tillräcklig teknisk prestanda på presentationssystemen är dock utmaningar som HMD-utvecklare ständigt tvingats möta sedan 60-talet.

Samtidigt som HMD-tekniken mognat har teknikutvecklingen för ögonrörelsemätningar (eng. eye tracking) varit mycket stark, framför allt de senaste fem åren, och flera olika metoder och system används. Syftet med detta projekt (QATEP, Quick Access Target Eye Pointer) är att studera hur denna teknikutveckling kan användas för att mäta var en stridspilot tittar och genom denna information om var den visuella uppmärksamhet är riktad styra utpekning av och invisning mot t.ex. hot, utan att HMD används. Viss funktionalitet i HMD-lösningar, såsom den visuella presentationsytan i visiret, kommer inte att vara tillgängligt, men en studiefråga är hur långt man kommer enbart med information av var piloten tittar och sedan med t.ex. 3D-ljud invisar. Projektets användningsfall är militär flygning med moderna flygsystem. Nyttan i nya interaktionsmetoder för utpekning och invisning har dock stor potential för tillämpningar som stöder såväl militära som civila flygförarens arbete samt andra typer av operatörer.

Tidigare begränsningar som förhindrat praktisk användning av ögonrörelsemätning i skarpa system har nu försvunnit, p.g.a. användandet av nya system baserade på bildigenkänning. Ingen utrustning behöver längre monteras på operatören. Projektet avser, baserat på existerande och världsledande svensk teknik från företaget Smart Eye, utveckla en prototyp som visar potentialen med ögonrörelsemätning för målutpekning. Prototypsystemet skall inom projektet utvärderas vid Flygvapnets Luftstrids-simuleringsscenter (FLSC).

Syftet med föreliggande rapport är att redovisa resultaten från QATEP-projektets förstudie, i vilken grundläggande förutsättningar vad gäller tekniska prestanda och möjliga hinder analyserats.

1.2 Roller i luftstrid

En luftstrid kan ske i olika roller: jakt, attack och spaning. Tidigare har dessa roller skötts av specialiserade flygplanstyper, men moderna stridsflygplan hanterar ofta flera roller (s.k. multi-role), däribland det svenska JAS 39 Gripen.

Under jaktuppdrag agerar förbandet i luften mot mål som också befinner sig i luften. Exempel på sådana mål är andra flygplan, UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle), UAV (Unmanned Aerial Vehicle), RPV (Remotely Piloted Vehicle), UAS (Unmanned Aircraft System) samt robotar.

Under attackuppdrag agerar förbandet i luften mot mål på marken, exempelvis infrastruktur eller mark- och sjöförband.

Under spaningsuppdrag inhämtar förbandet i luften underrättelser om mål på marken, exempelvis infrastruktur eller fientlig verksamhet. Det kan också röra sig om övervakning av hav- eller landområden.

1.3 Målangivelse i stridsflygplan

Centrala uppgifter för stridspiloter i speciellt jakt- och attackuppdrag är att ge målangivelser: peka ut mål till andra förbandsmedlemmar, samt invisa robotars målsökare mot mål.

För målangivelse idag används vanligen en tvådimensionell radarbild, vilken är en av flera s.k. Head-Down Display (HDD) som återfinns på flygplanets instrumentpanel. Denna typ av bildskärm benämns "head down" då piloten måste titta ner, relativt horisontlinjen, för att utläsa informationen. Den visuella kontakten med omvärlden (Out The Window view, OTW) bryts således när HDD används.

Stridsflygplan har därför vanligen också en Heads-Up Display, HUD, en transparent bildskärm som monteras ovanpå instrumentpanelen och täcker det främre synfältet. Denna kan också nyttjas för målangivelse, där symbolik renderas ovanpå verkliga mål som syns genom det främre cockpitfönstret. Således kan piloten tillgodogöra sig mål- och flygdata utan att bryta den visuella kontakten med omvärlden.

En HUD har begränsat synfält och de modernaste flygsystemen har stöd för användande av HMD, en hjälmmonterad bildskärm som överlagrar mål- och flygdata oavsett huvudets rotation. Se figur 1 för exempel på moderna HMD.



Figur 1: Gripen Cobra HMD (t.v.) och F-35 Lightning Gen II HMD (t.h.).

För att nyttja en HMD för målutpekning krävs dock att huvudet vrids i motsvarande vinkel som mål i miljön. Huvudets flexibilitet inskränks radikalt vid höga g-belastningar. Moderna robotars målsökare, exempelvis Robot 98/IRIS-T, har dock en mycket stor betraktningvinkel. FMV noterar att "med lämpliga sensorer i flygplanet kan IRIS-T även bekämpa mål som ligger bakom eget flygplan"¹, men ett HMD-sikte kan ej riktas bakåt givet huvudets begränsade utvridning, speciellt vid höga g-belastningar.

Andra centrala problem för HMD-lösningar är hög vikt alternativt viktobalans (Rash et al., 2009). Då bildskärmskomponenter monteras framför ögonen, på hjälmens framsida, förskjuts systemets masscentrum framåt, och sammanfaller inte längre med huvudets eget masscentrum. Viktobalans har funnits påverka postural stabilitet (Knight, 2007) och kan orsaka smärtor i nacke vid längre användande då vridmomentet som orsakas av det förflyttade masscentrat måste motverkas av nackens muskler (Rash et al., 2009). Detta är speciellt påtagligt under höga g-krafter. Masscentrum kan hjälpligt återställas med att placera motvikter på hjälmens baksida, men detta bidrar till en ökad totalvikt av HMD-systemet.

Vidare kan användande av HUD och HMD leda till s.k. *attentional tunnelling*, oförmåga att växla uppmärksamheten mellan verklig och datorgenererad information (Wickens & Long, 1994). Detta gäller speciellt för flygdata, vilken renderas på en statisk position på

¹ <http://www.fmv.se/WmTemplates/page.aspx?id=4930>, hämtad 2010-06-30

bildskärmen, vilket producerar en differentiell rörelse i synfältet mellan verklig och renderad information.

1.4 Ögonrörelsemätning

Som ett alternativ till HUD- och HMD-baserade sikten kan ögonens blickriktning registreras och nyttjas för målutpekning. Blickbaserad målutpekning kan utföras utan huvudrörelse. Vid normala g-belastningar kan blickbaserad målutpekning dessutom ge ett mycket större täckningsområde då blicken kan riktas utanför huvudets naturliga rörelseextremer. Då huvudet i bästa fall kan vridas ut $\pm 90^\circ$, kan blicken vridas ut ytterligare ca 60° , vilket kombinerat ger en maximal utvridning på $\pm 150^\circ$. Således kan ett QATEP-utrustat flygplan med underlägsen svängprestanda potentiellt vinna över ett överlägset flygplan i kurvstrid, då flygföraren kan vrida ögonen i stället för flygplanet för att låsa på målet.

Området ögonrörelsemätning har utvecklats starkt på senare tid. Tekniken används idag på bred front, bl.a. som handikaphjälpmedel för datorstyrning, samt för analyser av visuella sökmönster i exempelvis reklamsammanhang. Exempelvis Duchowski (2007) presenterar en djupare introduktion till området. Den tekniska utvecklingen har gjort att man inte längre är begränsad till ett mindre synfält (exempelvis en bildskärm), utan man kan med genom nya multi-kamerasystem skala upp täckningen till 360° runt användaren, vilket möjliggör användande i visuellt omslutande miljöer såsom en stridsflygplanscockpit. Dock finns en del faktorer som påverkar den faktiska mätkvaliteten på blickriktningen, och vissa aspekter, t.ex. förändring av ansiktsform, är unikt förknippade med denna ökade täckningsgrad; andra faktorer, t.ex. utrymmesbrist, g-krafter och skymmande utrustning, är unikt förknippade med en stridsflygplanscockpit. Denna förstudie ämnar belysa flertalet av dessa aspekter.

1.5 Funktionalitet

Med QATEP-systemet föreslås piloten både kunna ge (indata till flygplanet) och få (utdata från flygplanet) information om mål. Denna sektion listar de huvudfunktioner som systemet planeras innehålla. Funktionerna kan grovt delas in i indata (där piloten använder QATEP-systemet för att markera ett visuellt synligt objekt) samt utdata (där piloten använder QATEP-systemet för att få visuell kontakt med tidigare icke sedda objekt).

Indata

- Invisa robotmålsökare/radar (Jakt)
- Peka ut mål till förbandsmedlem* (Jakt, Attack, Spaning)

Utdata

- Bidra med riktning till flygplanssystemet när piloten begär identifiering* (Jakt)
- Hjälpa piloten m.h.a. audio till tidig ögonkontakt* (Jakt)
- Invisa pilotens ögon m.h.a. audio mot markmål/CAS/LV-hot* (Attack, Spaning)

* Kräver att målet finns i flygplanets system (varningssystem/länkinformation)

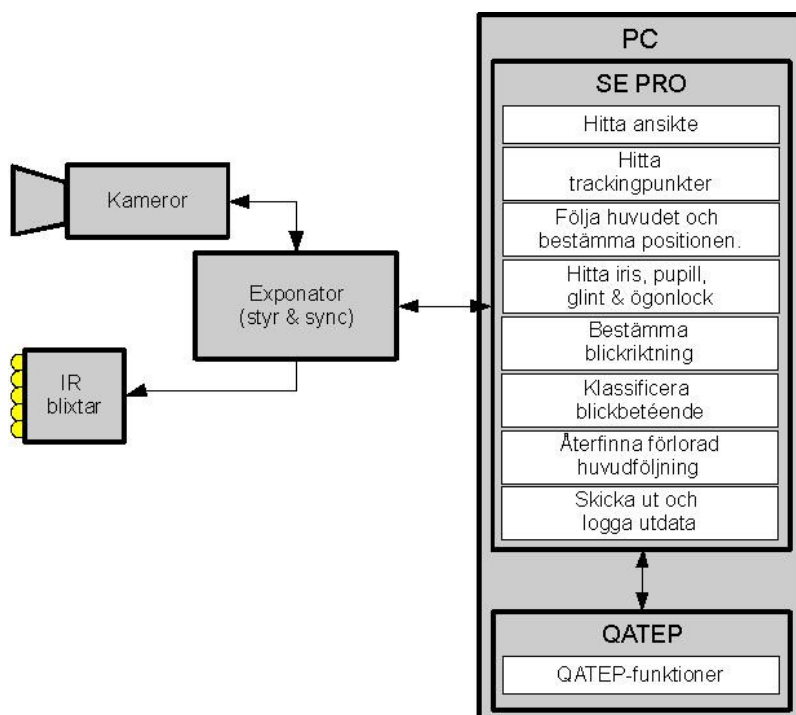
Dessa olika funktioner, samt dess koppling till flygsystem och styrning med hjälp av reglage på joystick och styrspak, har utförligt beskrivits i ett separat arbetsdokument som i projektet upprättats av Jerry Pousette.

1.6 Krav

Jerry Pousette har angett att systemet som riktlinje bör klara 3° noggrannhet på blickriktningen för att anses vara tillförlitligt för målutpekning i en viss region.

2 Teknisk beskrivning

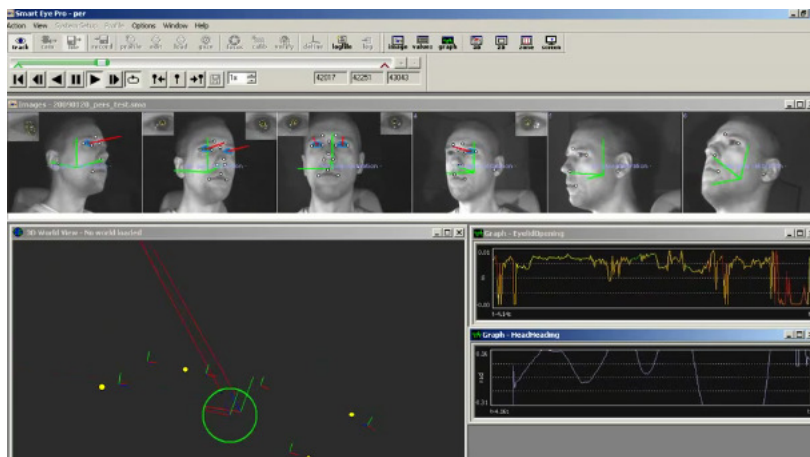
Systemet som används i studien är ett SmartEye Pro mångkamerasystem med beröringsfri, bildbehandlingsbaserad mätning av exempelvis huvudposition och blickriktning. I princip kan valfritt antal kameror användas för att täcka in alla tänkbara huvudrotationer hos en pilot. Rent praktiskt är 9-12 kameror en rimlig begränsning i dagsläget, men detta förändras över tiden.



Figur 2: Schematisk beskrivning av SmartEye-systemet med integrerad QATEP funktionalitet.

Systemet består av ett antal kameror med VGA upplösning (f.n.) med bildhastigheter på 30-120 Hz och svart-vit bildinformation med t.ex. 8 bitars upplösning per pixel. Optiken kan anpassas till önskat avstånd och mätvolym med hjälp av olika brännvidder. För att uppnå immunitet gentemot ljusvariationer i omgivningen, framförallt varierande solljus, samt för att uppnå mätförmåga i mörker, så använder sig systemet av ett antal pulsade ljuskällor med IR-ljus, s.k. "flash", tillsammans med ett snävt och väl avstämt bandpassfilter integrerat i kamerans optik.

Till detta kommer en styr- och synkroniserings- processor, benämnd "exponator", dessutom en kraftfull beräkningsdator, t.ex. en PC, samt kablage och fixturmekanik.

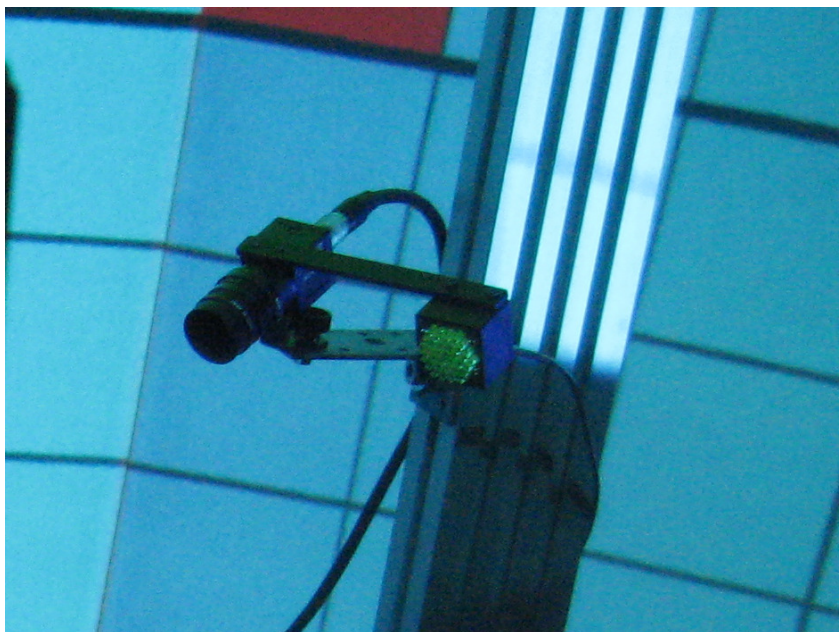


Figur 3: Illustrativ bild som visar den visuella feedbacken vid ett manuellt, operatörsstyrt mätförfarande med ett 6-kamerasystem. Systemet som används i QATEP är automatiserat och kräver ingen operatör under användandet.

Datorn tar emot en ström av bilder i realtid, processar dessa och ger som utsignal alla tänkbara värden om huvudets position, rotation, blickriktning, ögonlockens läge, pupillens storlek, klassificeringar av blickbeteende, t.ex. fixation, sackad, blinkning, etc. Som mellanled i dessa beräkningar finns följande moment:

- Hitta ansikte i bild.
- Hitta olika trackingpunkter i ansiktet, såsom ögonvrår, näsborrar, mungipor etc.
- Följa huvudets rörelser m.h.a. funna trackingpunkter och bestämma alla huvudets 6 frihetsgrader.
- Hitta iris begränsningscirkel, pupillens begränsningscirkel, ögonlockskanterna samt reflexer från belysningskällorna (s.k. glint) i cornea, dvs hornhinnan. Man letar i ett område mellan de trackade ögonvråna.
- Beräkna blickriktning på minst ett av följande sätt:
 - Bestämma pupillens position i förhållande till glintar, reflexer i cornea – ”glint-gaze” (Ger bäst resultat).
 - Bestämma iris position i förhållande till ett fiktivt ögoncentrum, beräknat vid tracking av huvudet – ”iris-gaze” (Användbart som fallback, om glint-gaze inte fungerar).
- Återfinna ansiktet, i det fall att man tappat tracking. (T.ex. piloten skymmer kamerorna.)

För närvarande drivs kamerasystemet med 12 VDC. Varje kamera drar ca 2W och varje flash drar ca 2W (medeleffekt) och en exponator drar ca 2W.



Figur 4: Kamera med IR-flash.

IR-flasharna använder sig av infraröda LED med en våglängd av 850 nm och en bandbredd på ca 50 nm. Varje flash ger ca 30 W/sr maxintensitet @ 100 mikrosekunder pulslängd @ t.ex. 60 Hz. SmartEye-systemet ligger väl inom strålskyddsnormen IEC 62471. Standardsystemets komponentmått är följande:

- Kameror: 29x29x{70-90} mm inkl. optik
- IR-flashar: 30x30x30 mm
- Exponator: 130x80x25 mm, som kan placeras fritt inom 5+ m från kamerorna.

Framtida miniatyrisering är möjlig och vissa projekt pågår i den riktningen. Se vidare utveckling i kapitel 5.

2.1 Användarmiljöns förutsättningar

2.1.1 Solvisir och reflexer

En förutsättning för att SmartEyes ögonrörelsesystem ska kunna mäta in ögonens rörelser är att minst två kameror kan se ögonen. En initial frågeställning för QATEP projektet var om det mörka visir som stridspiloter använder skulle medge genomsläpp av det IR ljus som SmartEye-systemet nyttjar för att skapa reflexer i ögonen.

Visiret släpper igenom ljus med våglängden 850 nm men en hel del av ljuset försvinner, vilket gör att kontrast mellan iris och pupill blir väldigt begränsad. Det är fortfarande möjligt att använda sig av irisens position, d.v.s. att man tittar på gränsen mellan iris och ögonvita (sclera). Det är möjligt att intensitetsförstärka bilden för att möjliggöra tracking genom solvisir (se figur 5 för initiala tester).



Figur 5: Bilder från test med solvisir. Till vänster rå och oförstärkt bild tagen av SmartEye-systemet, visande pilot med nedfällt solvisir. Till höger samma bild, men intensitetsförstärkt. Bilden illustrerar tydligt att bildinformationen finns tillgänglig även bakom solvisiret, och att solvisiret inte förhindrar blickriktningsmätning. Viss ökad brusighet i bildinformationen är att förvänta vid sådan förstärkning, men detta bör inte nämnvärt påverka mätdatakvaliteten.

Man kan också öka belysningen genom att använda sig av fler flashar. Nackdelen med detta är att det tar större plats och att IR-utstrålningen ökar.

IR-ljus som strålar ut ur cockpitfönstret kan leda till att risken att bli upptäckt ökar, då en cockpit upplyst med IR blir synlig på avstånd med Night Vision Goggles (NVG). Man skulle kunna sätta upp ett IR-spärrfilter i form av en plastfilm på cockpitfönstret för att dämpa effekten. En annan lösning är att sätta kameror/flashar innanför visiret (som diskuteras mer utförligt i kap 5.1.2 nedan). Flasharna kan givetvis också hållas avstängda under den tid systemet inte används.

Eftersom systemet använder sig av egen belysning i form av flashar samt bandpassfilter som släpper igenom frekvensen som flasharna lyser med, så är man oberoende av omgivningsljus. Detta betyder att systemet fungerar även på natten. Systemet är även tämligen opåverkat av varierande omgivningsljus.

Ett problem kan vara om man får solblänk på visiret så ögat helt enkelt blir osynligt för kameran. Då systemet har flera kameror så är det oftast så att en åtminstone en kamera ser ögat och då är systemet opåverkat av solreflexen.

2.1.2 Vibrationer

Systemet är relativt okänsligt för vibrationer så länge kamerorna vibrerar med varandra. Om kamerorna vibrerar inbördes så blir det lite känsligare, eftersom kamerorna är kalibrerade i förhållande till varandra. Det går dock att ta hänsyn till detta i algoritmerna och på så sätt minimera vibrationernas inverkan på systemets prestanda. I markbundna fordon har inte vibrationer varit ett problem.

2.1.3 Påverkan av G-krafter

Ansiktets utseende påverkas av de G-krafter som piloten utsätts för, och detta kan i sin tur påverka trackingen av huvudet. För tracking av huvudet används ögonvrår samt en delmängd av ögonbryn, näsborrar, nästipp, mungiporna, öronen och läpparna. Ögonvrårna och näsborrarna är de viktigaste punkterna och dessa påverkas mindre av G-krafterna än exempelvis mungipor, som är de trackingpunkter som sannolikt påverkas mest. Mungiporna och näsborrarna täcks dock för en stridspilot av andningsmasken. Då masken är rigid bör märkpunkter på denna kunna trackas med gott resultat.

Som nämnts i inledningen av detta kapitel finns det två olika huvudmetoder för blickriktningsmätning: iris-gaze och glint-gaze.

- Vid iris-gaze bestämmer man positionen av iris och relaterar det till ett fiktivt ögoncentrum, som baseras på huvudtrackingen, och kan därmed räkna ut blickriktningen. På så sätt kommer G-krafterna, via huvud-trackingens ögoncentrum, att delvis påverka en blickriktning baserad på Iris.
- Vid glint-gaze så bestämmer man (något förenklat) positionen på glintreflexen och positionen på pupillen. Med hjälp av dessa, och en känd radie på cornea, kan man sedan räkna ut blickriktningen, utan att använda huvudtrackingen, varför G-krafterna inte påverkar i detta skede. Dock måste vi leta efter glint och pupill på rätt ställe, vilket anvisas av huvud-trackingen. Om denna är grovt felaktig, så kanske man inte hittar glint och pupill alls.

Normalt använder sig SmartEye-systemet av glintbaserad blickriktnings-mätning, eftersom denna just eliminerar påverkan av dålig huvudtracking, och även pga. andra orsaker är bättre och stabilare, generellt sett. Iris-baserad blickriktning får numer anses som en ”fall back” metod, men är givetvis intressant när glintbaserad gaze av en eller annan anledning faller bort. (Exempelvis: glinten/glintarna hamnar utanför hornhinnans sfäriska område, vid stora vinklar mellan blickriktning och riktningen från öga-till-kamera.)

Slutsatsen blir att blickriktningsmätningen bedöms ha stora möjligheter att fungera väl även vid höga G-belastningar, men praktiska tester måste till för att med säkerhet avgöra denna fråga.

2.2 Kamerakonfigurationer

För att ögats rörelser skall kunna följas av systemet måste minst två (valfria) kameror se respektive öga. Eftersom stridsflygarens visuella sökbeteende tvingar denne att ha huvudet i extrema vinklar genomfördes inledande mätningar för att se hur många kameror som behövs och var de skall placeras. I dagens system används normalt upp till sex kameror, men teoretiskt kan systemet utnyttja godtyckligt antal kameror. Därför genomfördes en mätning hos FLSC i maj 2010, med en kompletterande mätning i juli samma år.

Kamerasystemets prestanda testades i två olika konfigurationer, ett 6-kamerasystem och ett simulerat 9-kamerasystem. I båda konfigurationerna placerades kamerorna i FLSCs flygkabiner på sådant avstånd att de skulle rymmas inne i en riktig cockpit (på instrumentpaneler, huvbågen eller direkt på huvglaset).

2.2.1 6-kamerasystem

Denna konfiguration definieras av ett renodlat system med sex kameror, som placerades för optimal mätning på hela domen.



Figur 6: 6-kamerasystem monterad i simulatorkabin med markerade kameror (röda cirklar) och flashar (gröna cirklar).

2.2.2 Simulerat 9-kamerasystem

Denna konfiguration definieras av ett system med sex asymmetriskt placerade kameror: en av dessa i riktningen "rakt fram", en lite åt höger samt övriga åt vänster från piloten sett. Placeringen av dessa kameror är optimerad för mätningar i vänster halva av domen. Tanken är sedan att om man skulle utvidga systemet med 3 kameror i högra delen av domen, placerade på samma sätt som de tre vänsterplacerade kamerorna, men speglat, så skulle man få samma mätdatakvalitet i den högra halvan av domen som för den vänstra. Utan att faktiskt göra denna utvidgning, så antar vi att den uppmätta mätdatakvalitet som vi får för vänster halva av domen, är giltig även för höger halva av domen och direkt kan extrapoleras och speglas in i denna. Detta alternativ refereras fortlöpande i detta dokument som "9-kamerasystem".



Figur 7: Simulerat 9-kamerasystem monterad i simulatorkabin med markerade kameror (röda cirklar) och flashar (gröna cirklar).

2.3 Definitioner

För att kunna redovisa prestanda är det viktigt att definiera vissa begrepp, exempelvis headbox, blickriktningsstråle, utgångspunkt för blickriktning, vilka beskrivs nedan. Alla enheter är SI-enheter (meter, radianer, sekunder etc.) om inte annat anges.

2.3.1 Kamerakoordinatssystem (CCS)

Kamerakoordinatsystemet är ett ortonormerat högersystem, unikt för varje kamera.

Origo är där ljusstrålarna möts i linssystemet.

Om man står bakom kameran och tittar i samma riktning som kameran, dvs. mot piloten, så ligger X-axeln i kamerans bildplan och pekar åt höger och är parallell med linjerna i kamerabilden. Y-axeln ligger också i kamerans bildplan och pekar uppåt, d.v.s. ortogonalt mot X-axeln. Z-axeln pekar ut ur kameran genom linsen, parallellt med bildplanets normal.

2.3.2 Världskoordinatssystem (WCS) och rotationsbas (RB)

Världskoordinatsystemet är ett referenskoordinatsystem (ortonormerat högersystem) som är kopplat till cockpit.

Rotationsbas används för att definiera framåt och uppåt i världskoordinatsystemet. Framåt och uppåt används som nollreferenser när man mäter eulervinklar.

Både världskoordinatsystem och rotationsbas kan definieras av användaren.

All utdata från systemet rapporteras i världskoordinatsystemet.

2.3.3 Huvudkoordinatsystem (HCS) och huvudpose

Huvudkoordinatsystemet är ett ortonormerat högersystem som sitter fast i pilotens huvud, oberoende av hur huvudet är positionerat eller roterat.

Origo sitter ungefär mittemellan öronen, eller i vissa fall mittemellan vänster och höger ögoncentrum.

X-axeln pekar åt pilotens vänster, Y-axeln pekar uppåt och Z-axeln pekar i pilotens näsriktning.

Notera att det inte finns någon entydig definition av koordinatsystemet, då generella referenspunkter saknas. Även om ett ansikte är relativt höger-vänster symmetriskt, så är det svårt att definiera vertikalaxeln, speciellt om man inte ser några öron (eller har några andra referenspunkter som kan användas som öronreferenser).

Det finns alltså en stor variation i hur vertikalaxeln pekar absolut, d.v.s. åt vilket håll näsan pekar i nickningsriktningen, mellan olika personer. För den enskilde piloten kommer också näsan att peka åt olika håll beroende på exempelvis humör.

Detta får till följd att varje pilot och initialisering kommer att generera ett unikt huvudkoordinatssystem. Detta påverkar inte systemets prestanda nämnvärt, men det är viktigt att tänka på om man försöker tolka absolut huvudrotation i nickningsriktningen.

Huvudposen är närbesläktad med huvudkoordinatsystemet och den talar momentant om hur huvudkoordinatsystemet (HCS) är orienterat och positionerat i förhållande till världskoordinatsystemet (WCS).

2.3.4 Blickriktningsstråle

En blickriktningsstråle definieras av en utgångspunkt för blickriktning i 3D samt en blickriktning.

En blickriktningsstråle är en enhetsvektor med två frihetsgrader (2-DOF) som beskriver en riktning i 3D.

Det finns separata blickriktningsstrålar för höger och vänster öga. Dessa kan kombineras till en cyklopriktningsstråle för ett virtuellt öga placerat mitt emellan höger och vänster öga.

2.3.5 Ögonöppning (Eyelid opening)

Ögonöppningen definieras som avståndet i 3D mellan övre och undre ögonlocket.

2.3.6 Mätvolym (Head box)

Med head box avses den volym där systemet kan mäta. Området definieras av hur de olika kamerorna tillsammans spänner upp ett område där piloten är synlig.

Observera att man kan mäta head pose i ett större område (position och rotation) än vad man kan mäta på ögonen. Systemet kan med två kameror mäta in pilotens huvudposition och rotation i alla lägen. Om man även vill mäta blickriktning måste man lägga till fler kameror.

2.4 Prestandamätningar

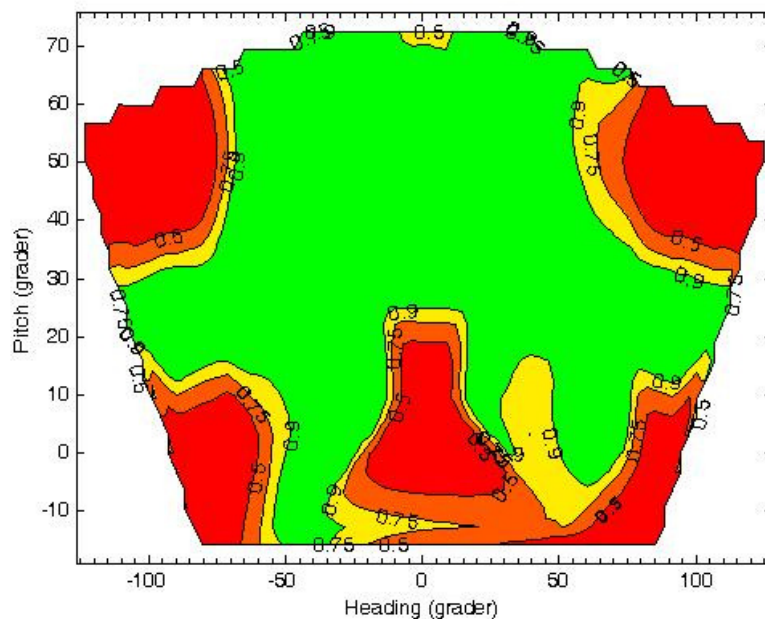
I detta kapitel presenteras mätvärdena grafiskt i diagramform. Numeriska värden finns bifogade i bilaga A.

Bakomliggande mätningar har utförts för ett antal fixationspunkter (36 stycken per halva av domen). Resultaten för dessa fixationspunkter har sedan interpolerats, för att kunna generera dessa diagram.

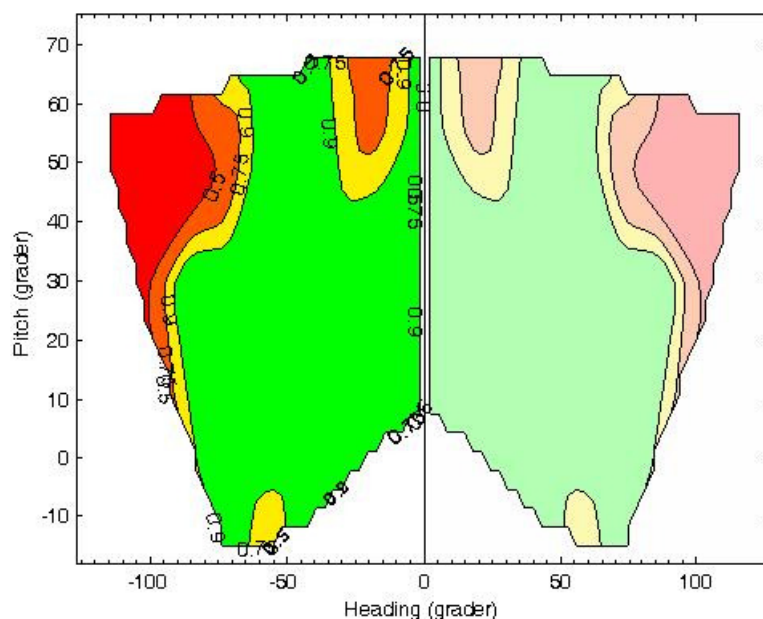
Notera att samtliga figurer har viss distorsion i över- och underkant, då den sfäriska projektionen så får områden med hög pitch en kraftigt förstörd yta. Vad som kan verka som stora områden i bildens absoluta överkant är i själva verket ganska små.

2.4.1 Tillgänglighet

Följande två diagram visar de uppmätta värdena för systemets tillgänglighet, vilket kan definieras som andelen mätvärden som kan anses tillförlitliga.



Figur 8: 6-kamera system: Tillgänglighet för uppmätt blickriktning (gaze), uttryckt som fraktion av 1 (1=100%, 0=0%). Systemet är optimerat för mätning i hela domen.

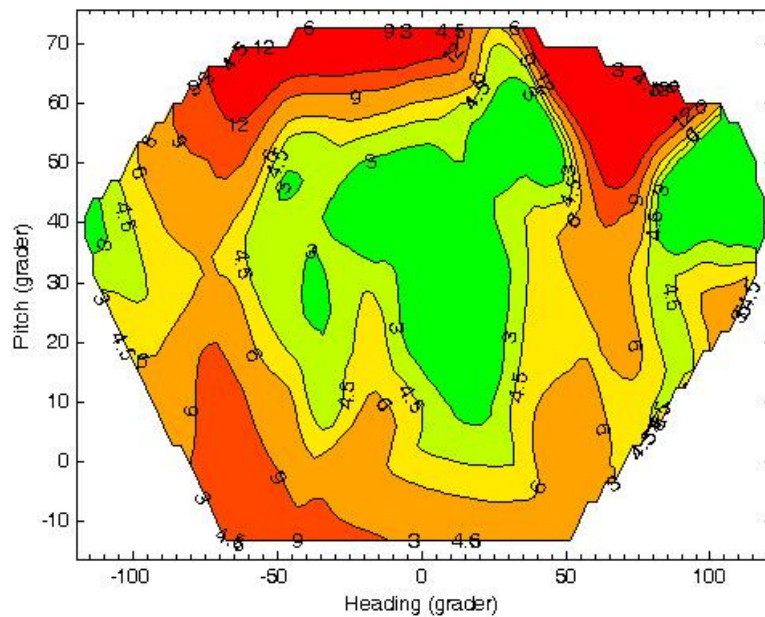


Figur 9: Simulerat 9-kamera system: Tillgänglighet för uppmätt blickriktning (gaze), uttryckt som fraktion av 1 (1=100%, 0=0%). Systemet är optimerat för mätning i vänstra halvan av domen. De ljusare värdena i högra halvan av domen är duplicerade och speglade data från vänstra halvan. (Hypotesen är att mätdatakvaliteten i höger och vänster halva rimligen är likartade, och att jämförelse av olika system konfigurationer underlättas av den visuella ekvivalens som härigenom uppstår.)

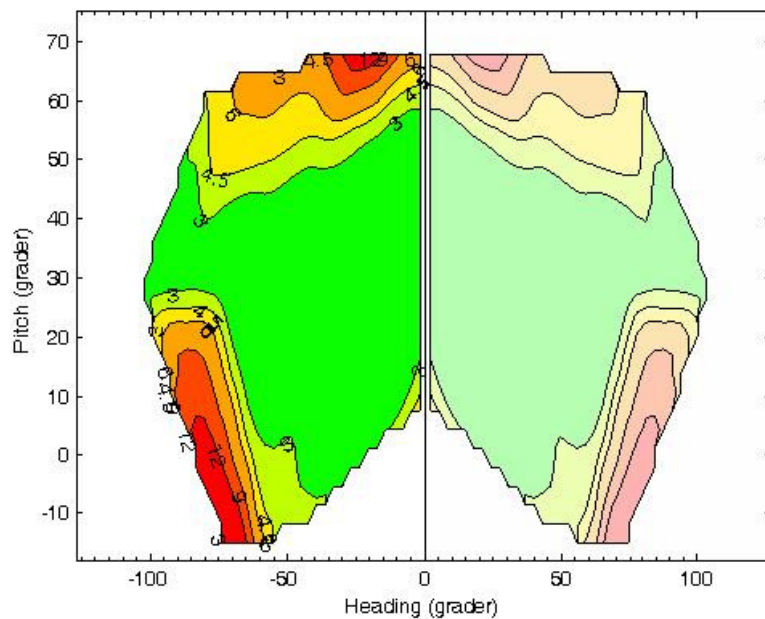
Vad som är en användbar tillgänglighet beror dels på uppgiften och dels på hur avbrotten i mätningarna är fördelade. Allmänt kan sägas att en tillgänglighet över 0,9 är bra. En tillgänglighet på mellan 0,75 och 0,9 är sannolikt ganska användbar, speciellt om avbrotten endast består av korta sekvenser på några fåtal bilder, väl spridda i tiden. Om avbrotten vid tillgängligheter på mellan 0,5 och 0,75 består av långa sammanhängande avbrott kan den vara svår att använda tillförlitligt, pga. långvariga funktionsbortfall, men om avbrotten å andra sidan, liksom ovan, utgörs av korta sekvenser på några fåtal bilder, väl spridda i tiden, kan man antagligen ändå ha nytta av signalen. Någon närmare analys av avbrottens karaktär och frekvens har inte utförts inför denna rapport, men är fullt möjlig att utföra i en kompletterande efterbehandling.

2.4.2 Noggrannhet

Systemets noggrannhet definieras som det aritmetiska medelfelet av mätvärdena. Det aritmetiska medelfelet är medelvärdet per fixationspunkt, av skillnaden, per filmruta, mellan uppmätt blickriktning och sann blickriktning. Gröna områden visar en noggrannhet på 3 grader eller bättre.



Figur 10: 6-kamera system: Aritmetiskt medelfel hos uppmätt blickriktning, uttryckt i grader. Systemet är optimerat för mätning i hela domen.



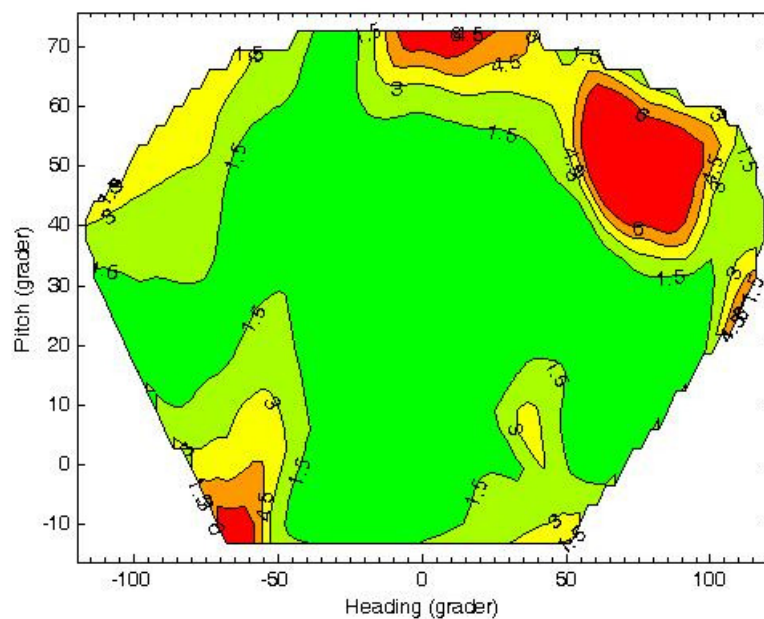
Figur 11: Simulerat 9-kamerasystem: Aritmetiskt medelfel för uppmätt blickriktning, uttryckt i grader. Systemet är optimerat för mätning i vänstra halvan av domen. De ljusare värdena i högra halvan av domen är duplicerade och speglade data från vänstra halvan. (Hypotesen är att mätdatakvaliteten i höger och vänster halva rimligen är likartade, och att jämförelse av olika system konfigurationer underlättas av den visuella ekvivalens som härigenom uppstår.)

Av de fixationspunkter som ligger bakom dessa interpolerade diagram, finns flera perifera punkter vars exakta koordinater inte fanns tillgängliga vid mätningarna. Dessa koordinater

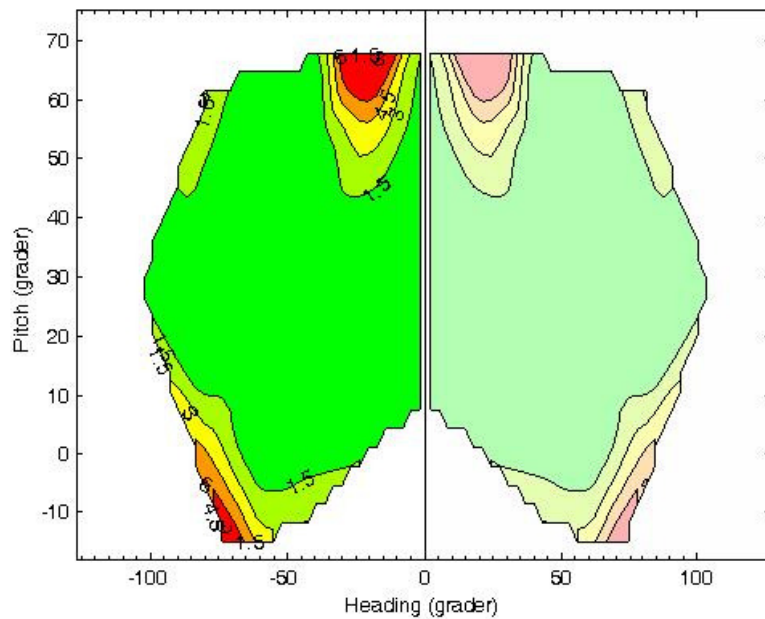
har uppskattats och extrapolerats i efterhand, varför de redovisade aritmetiska medelfelen hos dessa punkter inte är fast underbyggda och bör bedömas med stor försiktighet. För information om dessa extrapolerade fixationspunkters placering, se figurerna med mätdataplottningar nedan.

2.4.3 Precision

Systemets precision definieras som kvadratiska medelvärdet (RMS) per fixationspunkt, av skillnaden, per filmruta, mellan uppmätt blickriktning och medelvärdet för samtliga uppmätta blickriktningar inom en fixationspunkt. Detta kan även tolkas som spridningen av mätvärdena i förhållande till tyngdpunkten av mätvärdena, eller helt enkelt mätningens brus.

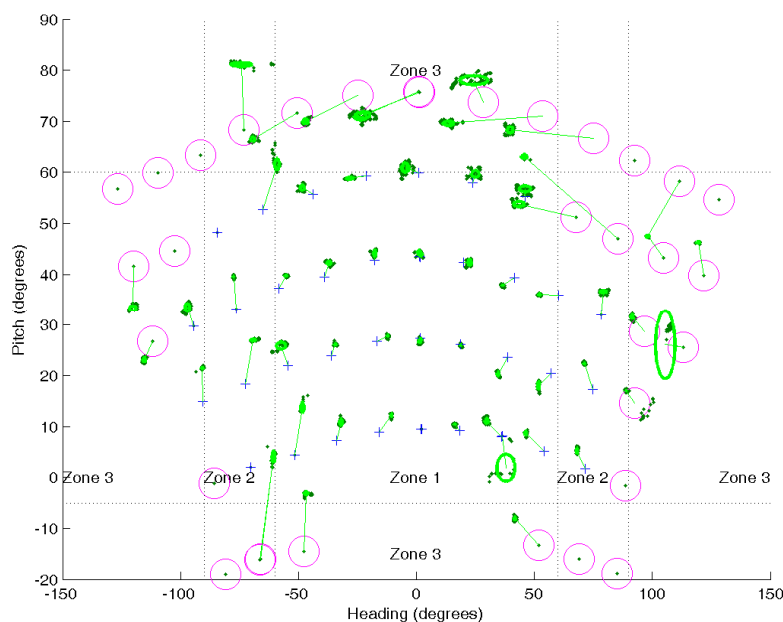


Figur 12: 6-kamera system: Precision hos uppmätt blickriktning, uttryckt i grader. Systemet är optimerat för mätning i hela domen.

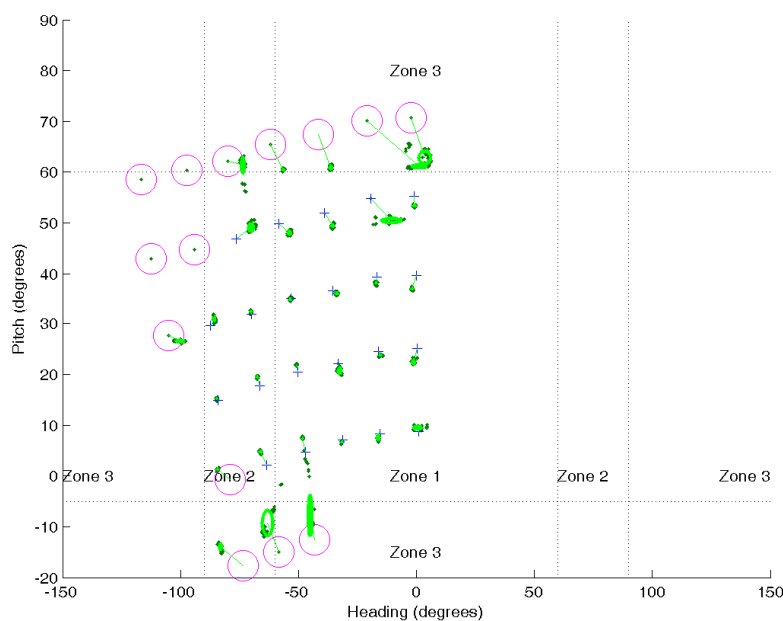


Figur 13: Simulerat 9-kamerasystem: Precision hos uppmätt blickriktning, uttryckt i grader. Systemet är optimerat för mätning i vänstra halvan av domen. De ljusare värdena i högra halvan av domen är duplicerade och speglade data från vänstra halvan. (Hypotesen är att mätdatakvaliten i höger och vänster halva rimligen är likartade, och att jämförelse av olika system konfigurationer underlättas av den visuella ekvivalens som härigenom uppstår.)

2.4.4 Fixationer



Figur 14: Mätdata-plot för 6-kamera system: Bakomliggande mätdata per fixationspunkt. Systemet är optimerat för mätning i hela domen. Man kan se att förväxling av fixationspunkter sannolikt har skett för de flesta punkterna i den översta raden och dessutom för en del punkter i högra delen av den näst översta raden. Detta har inte korrigerats då det är svårt att göra med fullständig konfidens.



Figur 15: Mätdata-plot för simulerat 9-kamera system: Bakomliggande mätdata per fixationspunkt. Systemet är optimerat för mätning i vänstra halvan av domen.

I dessa diagram är mätvärden ”per filmruta” plottade som *mörkgröna punkter* (~100 st vid tillgänglighet 1). *Blå kors* representerar fixationspunkter med inmätta koordinater, dvs. sanna fixationspunkter. *Cirklar i magenta* representerar fixationspunkter med uppskattade och extrapolerade koordinater. *Gröna linjer*, från fixationspunkten till tyngdpunkten av mätvärdena, representerar det aritmetiska medelfelet. (Tappad gazetracking är inte medräknad i detta utan återspeglas i tillgänglighetssiffrorna.) *Ljusgröna ellipser*, kring mätvärdena, representerar precisionen, dvs. RMS-värdena av spridningen i mätdata (1 standardavvikelse), uppdelat i horisontal och vertikal komponent. Zon 1-3 utgör en grov klassificering av mätresultat, baserat på en visuell bedömning av data, och medelvärden i tabellform för Error, Standard Deviation och Availability vilka återfinns i bilaga A.

- Zon 1: Bra värden för båda konfigurationerna. Inga extrapolerade fixationspunkter. Inga förväxlingar av fixationspunkter.
- Zon 2: Fortfarande bra värden för det simulerade 9-kamerasystemet men markant sämre för 6-kamerasystemet. Få extrapolerade gaze targets. Få förväxlingar av gaze targets. Här ser man den huvudsakliga skillnaden mellan 6-kamerasystemet och det simulerade 9-kamerasystemet.
- Zon 3: Båda konfigurationerna har försämrade mätvärden. Här ligger också de flesta extrapolerade fixationspunkterna. Här ligger även de flesta av de förväxlade fixationspunkterna som, felaktigt, genererar stora mätfel.

Noterbart är, som nämnts ovan, att det sannolikt har skett förväxlingar av gaze targets, både via tangenttryckningarna och genom att försökspersonen har tittat på fel gaze targets. I fallet 9-kamerasystem var det relativt tydligt att tangentförväxlingar hade skett, och detta kunde rättas till i postprocessningen.

I fallet 6-kamerasystem kan man inte lika tydligt avgöra att misstag har skett, men ett studium av dessa diagram visar att det sannolikt är så. Vi kan se felvektorer med ”grid size” och relativt systematisk riktning, vilket antyder att förväxlingar sannolikt har skett. Detta gäller främst den översta raden med gaze targets i den symmetriska setupen. Att på ett entydigt och trovärdigt sätt byta identitet för dessa gaze targets i postprocessningen, bedömdes här som mindre framgångsrikt, varför detta undveks. Kontentan är att man bör behandla dessa felvektorer med ett stort mått av skepsis.

2.5 Diskussion

2.5.1 Tillgänglighet

9-kamerasystemet uppvisar markant bättre tillgänglighet i de lågt liggande fixationspunkterna, jämfört med 6-kamerasystemet. Detta beror sannolikt helt enkelt på att vi har fler lågt placerade kameror, som bättre kan täcka upp pilotens olika huvudrotationer.

För de allra största rotationerna, de övre hörnen i resultatfigurerna, klarar inte heller 9-kamerasystemet att mäta. Möjligen skulle detta avhjälpas genom att ytterligare flytta ut den övre kameran i extrem vänsterposition, men detta skulle också kunna resultera i försämringar på annat ställe. Genom jämförelse mellan kameraplaceringarna i de två konfigurationerna, så ser man att det övre vänstra hörnet i 9-kamerafallet inte egentligen har bättre kameratäckning än vad 6-kamerasystemet har.

2.5.2 Noggrannhet

Även vad gäller noggrannhet så uppvisar 9-kamerasystemet markant bättre värden jämfört med 6-kamerasystemet. Två problemområden kan urskiljas även för 9-kamerasystemet: Överkanten och Nedre Vänstra hörnet.

Problemen i överkant kan sannolikt till viss del förklaras med att vi här tvingades jobba med extrapolerade fixationspunkter, men beror också på att systemet faktisk mäter sämre här, t.ex. pga. att glintar hamnar på randen till cornea.

I nedre vänstra hörnet i 9-kamerafallet, kan man i rådata tydligt se hur blickriktningen hoppar mellan två olika mädatakluster, vilket både ger dålig noggrannhet och dålig precision. Detta skulle kunna tänkas bero på att glinten hamnar på hornhinnans rand och blir dubbel och/eller oregelbunden, eller att någon glint faller bort och att vi då får sammanblandning mellan olika glintar eller problem med glintidentifikation. Olycklig kameraselektion eller ögonselektion i kombination med begränsningsparametrar i bildbehandlings 3-D modell, kan också möjligen vara orsak.

2.5.3 Precision

Även här ser vi en tydlig skillnad mellan 6-kamerasystemet och 9-kamerasystemet, dock inte lika markant som i fallet med noggrannheten. 9-kamerasystemet uppvisar användbara data i stort sett hela området, utom i någon liten punkt i överkant, samt i nedre vänstra hörnet.

2.5.4 Förbättringsmöjligheter

När nu problemområdena i 9-kamerafallet är tydligt kartlagda, finns stora möjligheter att trimma systemet att fungera väl även här. Vi har identifierat problem med noggrannhet och precision i överkant och nedre vänstra hörnet, samt dålig tillgänglighet i övre vänstra hörnet. Man kan tänka sig att detaljstudera filmer från dessa områden och trimma in systemet avseende exempelvis:

- Kameraplacering.
- Flashplacering.
- Justera begränsningsparametrar, t.ex. gazebegränsningskoner.
- Justera kamera-/ögon-selektion. Kanske är inte den vinkelmässigt närmsta kameran den bästa att välja.
- Glintidentifikation.
- Fullständig inmätning av simulatordomen.

Det kan vara av värde att ytterligare utöka mätområdet i eventuellt kommande test, för att fastställa exakt var systemet tappar mätförmågan. Som det är nu, är vissa mätvärdesprestanda bra ända ut till mätområdets rand, och det uppstår en viss osäkerhet i hur långt vi hade kunnat mäta.

2.5.5 Sammanfattning av resultat

Mätningarna pekar på att ett 6-kamerasystem är otillräckligt för QATEP-konceptet, då noggrannhetskravet 3 grader endast kan uppnås i en mindre del av synfältet (se fig 10) och tillgängligheten också är otillfredsställande i vissa områden.

Med ett 9-kamerasystem kan noggrannhetskravet till stor del uppnås (se fig. 11), likväl som en tillfredställande tillgänglighet. Endast i isolerade och perifera områden är prestanda mindre tillfredställande.

I en skarp miljö, med utökade krav på mätområdets omfattning, får man nog tänka sig ytterligare kameror, även om vi kan trimma systemet markant från nuvarande prestandaläge.

3 Slutsats och erfarenheter

Resultaten av prestandamätningarna som redovisades i kapitel 2.4 visar att utvärderingen i FLSC bör göras med minst ett 9-kamerasystem för att få tillförlitliga resultat. Kameraplaceringen kan utföras på ett sådant sätt som motsvarar det simulerade 9-kamerasystemet, vilket innebär att fullgod täckning ges utan att kamerorna signifikant skymmer sikten.

I en framtida skarp implementation behövs sannolikt ett 12-kamerasystem, där kameror och flashar kan behöva miniatyriseras för att kunna installeras utan att inskränka pilotens rörlighet och sikt. Alternativt byggs mycket små kameror in i hjälmen, på insidan av visiret, vilket minskar antalet fasta kameror i cockpit som då enbart behövs för tracking av hjälm. Dessa utvecklingsspår beskrivs vidare i kapitel 5 nedan.

3.1 Metodutveckling

Generaliserade analysskript: Som en direkt följd av QATEP har vi fått utveckla våra analysskript och generalisera dessa. Tidigare har de varit mer direkt anpassade för den interna labb-simulator på SmartEye, men tillåter nu en friare försökupställning.

Analysutveckling via heatmap: Under arbetets gång har vi tagit fram resultatfigurer med "heatmap"-presentation, som en del i analysen. Detta är fördelaktigt även i framtida analyser.

Insikter om försöksmetodik: Vi har sett att det lätt kan bli förväxlingar både vad gäller taggning/identifiering av mätsekvenser, och vad gäller anvisning av aktuell fixationspunkt. Vi behöver utveckla en säkrare metodik för detta, där dessa felmöjligheter elimineras.

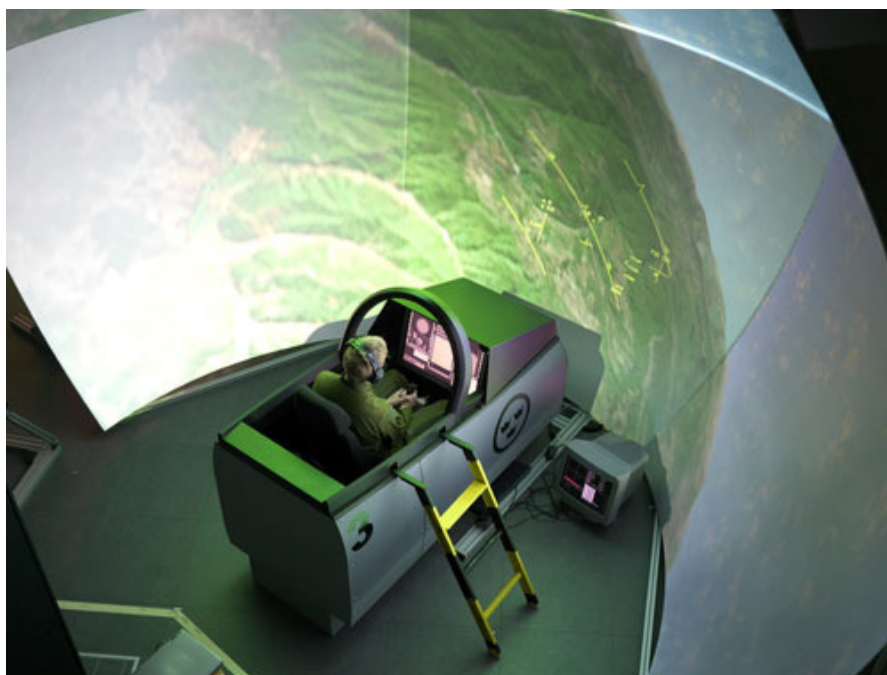
Mjukvara: Vi har tydligt fått belysning på hur viktigt det är att utföra korrekta dynamiska kameraval, att rätt identifiera glintar och att ha rätt begränsningskoner för blickriktningen, för att uppnå goda mätprestanda i mät-envelopens utkanter.

Hårdvara: Inom QATEP så har vi utvecklat en prototyp-demonstrator som skall kunna installeras, startas up och köras på kort tid, med ett minimum av mekanisk och mjukvarumässig intrimning. Den är dessutom portabel och kan köras på godtycklig plats.

4 Vidareutveckling inom projektet

4.1 Utvärdering

Utvärdering av QATEP-konceptet kommer att utföras i FLSC. Ett antal WVR (Within Visual Range) scenarier kommer att skapas för att testa olika aspekter av QATEP-systemet. Aktiva stridspiloter kommer att användas för att flyga i respektive scenario i simulatorn.



Figur 16: En kabin i en av domerna i FLSCs simulatorhall.

Utvärderingen kommer primärt att fokusera på en av systemets grundfunktioner, invisning av robotmålsökare, men övriga funktioner såsom invisning av pilotens ögon kan också komma att inkluderas. Både kvantitativ och kvalitativ datainsamling planeras, beroende på scenariotyp. Nedan följer ett antal tänkbara scenarier:

Scenario A: Piloten flyger med en fast kurs och fart, dvs. som om han satt i baksits, mot ett större antal datorgenererade (CGF, dvs. Computer Generated Forces) luftmål (ca 30 st) som dyker upp på olika ställen i synfältet. Pilotens uppgift är att låsa på varje mål så snabbt som möjligt. Pilotens svarstid utgör underlag för kvantitativ jämförelse mellan piloternas prestanda i QATEP-systemet och nuvarande radardisplay, samt eventuellt HMD.

Scenario B: Som ovan, men piloten kan själv manövrera planet. Dock innehåller uppdraget ett antal brytpunkter, som är både geografiskt och temporalt specificerade, som skall passeras. Detta ökar realismen i uppgiften men minskar möjligheterna till direkt kvantitativ dataanalys.

Scenario C: "Free flight", där piloten inte har någon specifik rutt att följa utan skall bekämpa mål i närområdet efter bästa förmåga. I denna typ av scenario används kvalitativa metoder för att studera exempelvis piloters subjektiva bedömningar och ergonomiska

faktorer. För detta scenario bör motståndaren/motståndarna utgöras av bemannade simulatorer

Ögonrörelsemätningssystemet i sig kan också användas för datainsamling under andra pågående övningar i FLSC. Intressanta parametrar att studera inkluderar pilotens visuella sökmönster, huvudrörelsernas frekvens och amplitud, samt andel av tiden som blicken riktas mot HDD, HUD respektive omvärld. Tid till upptäckt, tid till pålysning med radar och tid till bekämpning kan vara andra intressanta parametrar att logga och analysera. Den skulle också kunna utvärderas i flygsäkerhetssammanhang då systemet kan identifiera och varna för trötthet eller avsvimning (exempelvis p.g.a. GLOC, G-force induced Loss Of Consciousness).

En aspekt som måste undersökas inför utvärderingen är den simulerade omvärldens visuella upplösning; om denna markant skiljer sig från verkligheten kan den simulerade omvärlden ge kortare möjligt upptäcktsavstånd. Detta kan behöva kompenseras genom att förstärka simulerade objekt bortom detta avstånd, exempelvis genom att modifiera storlek eller kontrast.

4.2 Simulatorintegration

För att genomföra utvärderingen måste systemet integreras med befintlig simulatormiljö hos FLSC. Detta kan grovt delas in i tre delar: drivrutin för att ta emot blickriktning från ögonrörelsemätningssystemet, integration med övrigt MMI (radar, HUD, samt styrning via spak och handkontroll), samt integration med sensor- och vapensystem.

4.3 Marknadsföring och konceptdemonstrator

Projektgruppen har skapat en ”konceptdemo”, vars syfte är att kunna demonstrera systemets funktion och prestanda hos potentiell kund på ett både informativt och engagerande sätt. Demonstratorn är utformad som en portabel installation där kameror och flashar har integrerats med en 32-tumsskärm (se figur nedan).



Figur 17: QATEP konceptdemonstrator under utveckling.

Systemet demonstreras genom ett enklare flygspel, där alla funktioner som kan tänkas finnas i en skarp implementation, inklusive målutpekning och -identifiering, finns representerade. Systemet styrs med ögonrörelser samt avancerade speljoysticks. Genom en poängräkningsfunktion blir spelet ytterligare engagerande då man sannolikt vill förbättra sin prestation för att nå högre poäng.

5 Framtida utveckling

I detta kapitel beskrivs möjliga framtida utvecklingsspår, dels för ögonrörelsemätningssystemet som sådant, samt hur det kan kopplas till befintliga system i flygplanet.

5.1 Ögonrörelsemätningssystem

För att underlätta framtida installation i en skarp miljö behöver viss anpassning av ögonrörelsemätningssystemet genomföras. Här beskrivs kort olika möjliga utvecklingsspår.

5.1.1 Miniaturisering av nuvarande kamerasystem

I en framtida lösning i skarp miljö behövs sannolikt fler kameror användas och åtminstone delvis placeras på insidan av huven. För att dessa inte skall störa synfält, huvuhantering och utskjutning behöver kamerorna miniaturiseras, så de inte utgör ett visuellt eller fysiskt hinder i cockpit. Det finns i dag miniatyrkameror av sockerbitsstorlek (exempelvis 13.5x11.0x9.7 mm), även om de inte möter exakt de specifikationer som används i ett SmartEye-system idag. Den snabba kamerautvecklingen gör dock att det är rimligt att anta ett användande av så små kameror i en inte alltför avlägsen framtid.

Visuellt störande kablage på insidan huven skulle också kunna vara ett problem. Två olika lösningsidéer är:

- Tunna ledare inbäddade i transparent, isolerande plast (liknande uppvärmd bilbakruta).
- Utvecklingen går f.n. raskt inom området transparenta elektriska ledare, t.ex. med hjälp av grafen och nanotuber. Det är tänkbart att man kommer att kunna tillverka platta, transparenta elektriska ledare och genom sandwichteknik kunna stapla flera ledare på varandra.

Små kameror och transparenta ledare skulle kunna möjliggöra i stort sett fri kameraplacering runt om i cockpit, och möjliggöra mätning av huvudposition och/eller blickriktning för varje tänkbar huvudrotation hos en pilot.

5.1.2 Hjälmmonterade kameror och tracking av hjälm

Ett alternativ till ett traditionellt, beröringsfritt mångkamarasystem för mätning av blickriktning skulle kunna vara ett kombinationssystem.

- Hjälmmonterade kameror som med hög noggrannhet och tillgänglighet kan mäta blickriktningen i relativt pilotens hjälm.
- Ett förenklat beröringsfritt kamerasystem, med färre och enklare kameror, i kombination med markörer på hjälmen. Markörerna kan lätt följas med relativt få kameror och ändå ge hög noggrannhet i uppmätt hjälmposition.

Som en bieffekt kan man antagligen väsentligt reducera intensiteten hos det använda IR-ljuset.

5.2 MMI och gränssnitt

QATEP-konceptet i nuvarande skepnad är i huvudsak kopplad till befintliga gränssnitt i cockpit: kommandon (indata) ges av piloten via knappar på styrspak och systemhandkontroll, medan bekräftelser och information (utdata) ges via befintligt audiosystem. En framtida vidareutveckling av QATEP-konceptet skulle kunna avancerad

teknik även för dessa gränssnitt, exempelvis röststyrning och 3D-audio. Just 3D-audio har särskild potential i detta sammanhang för att ytterligare hjälpa piloten till tidig ögonkontakt, då blickriktning och ljudriktning kan samverka för att korrigera pilotens fokus.

Tidigare svensk forskning och utveckling har bland annat genomförts i ACE projektet (Waldelöf & Willén, 2002). Flygprovkampanjen inom ACE projektet genomfördes 19-27 juni 2002 vid FMV:VoVC i Malmslätt i en SK60. Detta var första gången ett samverkande 3D-audio, röststyrning (DVI) och flatpanels HMD system flygprovades i Sverige. Sammanlagt genomfördes 7 flygpass med två provförare samt ett avslutande markprov. I Waldelöf och Willén beskrivs många erfarenheter vad gäller prestanda på den då aktuella tekniken. De beskriver också hur 3D-audio har tillräcklig noggrannhet för att kunna vara till stor nytta för att upptäcka hot och mål, och har potential att bli mycket användbart i kombination med HMD.

Framtida HMD-system kommer med all sannolikhet att bli mindre inkräktande på rörelsefriheten i cockpit. Det finns exempelvis experiment utförda på University of Washington med miniatyrdisplayer i kontaktlinser (Ho et al., 2008), och vissa tidiga försök har delvis gett blinda synen tillbaka genom direktinkoppling på synnerven. I dessa scenarier kommer ögonrörelsemätning att vara kritisk för att kunna rendera information kopplad till vad användaren faktiskt tittar på.

Referenser

- A. Duchowski, *Eye tracking methodology: theory and practice*, Springer-Verlag, London, 2007. ISBN: 978-1-84628-608-7.
- H. Ho, E. Saeedi, S. S. Kim, T. T. Shen, B. A. Parviz, *Contact Lens With Integrated Inorganic Semiconductor Devices*, in Proceedings of the International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), Tucson (AZ), pp. 403-406, January 2008.
- J. F. Knight, *Effect of Head-Mounted Displays on Posture*, Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol. 49, no. 5, pp. 797-807, October 2007.
- C. E. Rash et al. (eds), *Helmet-Mounted Displays: Sensation, Perception and Cognition Issues*, U.S. Army Aeromedical Research Laboratory, 2009.
- C. E. Rash, M. Russo, T. Letowski, and E. Schmeisser, (eds). *Helmet-mounted Displays: Sensation, Perception, and Cognition Issues*. Fort Rucker, AL: U.S. Army Aeromedical Research Laboratory, 2009.
- C. D. Wickens and J. Long, *Conformal symbology, attention shifts, and the head-up display*, Proceedings of the 38th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, (6-10) Nashville, TN: Human Factors and Ergonomics Society, 1994.
- C. Waldelöf and B. Willén, *ACE flygprov*. DM-02:052. Intern SAAB rapport.

Bilaga A. Tabell över mätresultat

Tabell över noggrannhet (medelfel), precision (standardavvikelse) och tillgänglighet från mätningar i FLSC-dom 2010-07-05:

			9-kamera system Medelvärde över konfiguration och zon		6-kamera system Medelvärde över konfiguration och zon	
Heading	Medelfel	Zon 1	1.5088	°	3.166978	°
Heading	Standardavvikelse	Zon 1	0.55181	°	0.884413	°
Pitch	Medelfel	Zon 1	1.61707	°	2.054199	°
Pitch	Standardavvikelse	Zon 1	0.34061	°	0.670704	°
Tillgänglighet		Zon 1	97.5%		91.2%	
Heading	Medelfel	Zon 2	4.24	°	4.607692	°
Heading	Standardavvikelse	Zon 2	0.48628	°	2.250033	°
Pitch	Medelfel	Zon 2	2.11278	°	5.213637	°
Pitch	Standardavvikelse	Zon 2	0.74787	°	1.039953	°
Tillgänglighet		Zon 2	93.6%		57.9%	
Heading	Medelfel	Zon 3	6.23715	°	9.154062	°
Heading	Standardavvikelse	Zon 3	3.34066	°	2.591273	°
Pitch	Medelfel	Zon 3	6.47024	°	4.147197	°
Pitch	Standardavvikelse	Zon 3	2.42068	°	1.940296	°
Tillgänglighet		Zon 3	56.4%		56.0%	
Heading	Medelfel	Zon 1,2,3	3.99532	°	5.64291	°
Heading	Standardavvikelse	Zon 1,2,3	1.45958	°	1.908573	°
Pitch	Medelfel	Zon 1,2,3	3.40003	°	3.805011	°
Pitch	Standardavvikelse	Zon 1,2,3	1.16972	°	1.216985	°
Tillgänglighet		Zon 1,2,3	82.5%		68.4%	

Alla medelfel och standardavvikelser är uttryckta i grader. Tillgänglighet är uttryckt i procent.

Zon 1 = $\text{abs(Heading)} < 60$ OCH $\text{Pitch} < 60$ OCH $\text{Pitch} > -5$

Zon 2 = $\text{abs(Heading)} < 90$ OCH $\text{abs(Heading)} > 60$ OCH $\text{Pitch} < 60$ OCH $\text{Pitch} > -5$

Zon 3 = $\text{abs(Heading)} > 90$ ELLER $\text{Pitch} > 60$ ELLER $\text{Pitch} < -5$

Medelfelen i tabellen ovan är det aritmetiska medelvärdet av felen för unionen av alla dataserier för i zonen ingående 'GazeTarget's

Standardavvikelserna i tabellen ovan är RMS-medelvärdet av samtliga standardavvikelser för i zonen ingående 'GazeTarget's.

I många fall fanns inte inmätta koordinater för 'GazeTarget's. Dessa koordinater fick då extrapoleras fram ur de mer centrala 'GazeTarget's, varvid ett stort mått av gissning fick ingå. Medelfelen för dessa punkter bör beaktas som ytterligt osäkra. Dessa extrapolerade punkter ligger huvudsakligen i zon 3. (markerade med magentafärgade cirklar i plottningar över felen i mätdata plottningarna.)

När systemet tappar "Gaze Tracking" så sätts "Heading" och "Pitch" till noll, och dessa värden ingår därför inte i vare sig medelfel eller standardavvikelse.

Vissa fixationer blev felaktigt indexerade i loggen och för vissa andra fixationer så tog försökspersonen fel på "GazeTarget". I 9-kamerasystemet så kunde de felindexerade fixationerna korrigeras i efter-analysen med relativt hög tillförlitlighet. I 6-kamerasystemet, var felgreppen betydligt mer svåröversatta, och ingen korrigering utfördes. Medelfelen för dessa fixationer bör inte egentligen beaktas. (Se plottningarna över felen: långa felvektorer, ungefärligt systematiska och en magnitud ungefärligen lika stor som mätpunkternas separation.)