

Vluchtsimulatie voor de KLu

Hoe realistisch is de training?

H.J. Koolstra – luitenant-kolonel van de Koninklijke Luchtmacht*

Inleiding

Vluchtsimulatie maakt een stormachtige ontwikkeling door. Was de vluchtsimulator vroeger een apparaat waar je nu eenmaal een aantal keren per jaar de noodprocedures in moest beoefenen, tegenwoordig kan een simulator deel uitmaken van een wereldwijd netwerk waarin je met anderen een complete operationele missie simuleert. Maar dat is nog niet alles; simulatie is ook onderdeel geworden van normale vlieg oefeningen. Met *embedded training* is de simulator ook het vliegtuig binnengedrongen en kan een operationele trainingsmissie een mengvorm zijn waarbij een vliegtuig met zowel echte als gesimuleerde doelen oefent. Daarnaast zijn er de *battle* simulatoren waarop een gehele lucht campagne kan worden nagebootst.

De Koninklijke Luchtmacht heeft in de afgelopen jaren met al deze ver-

schillende systemen ervaring opgedaan en veel van deze simulatoren zijn constant in gebruik. Maar onze kerheden voor de toekomst zijn er wel. Embedded training en internationale oefeningen met simulatoren zijn alleen nog maar getest en hoe deze zaken het best geïmplementeerd kunnen worden is nog onzeker. Battle simulatoren gebruikt de KLU momenteel alleen voor onderwijsdoeleinden, maar wellicht zijn meer toepassingen, bijvoorbeeld voor doctrine-ontwikkeling, mogelijk.

Met de JSF krijgt de KLU een *single seat fighter* waarvan geen tweezitters worden geproduceerd ten behoeve van de opleiding. De toekomstige JSF vlieger stapt direct vanuit de simulator alleen in het echte vliegtuig. Deze situatie is niet nieuw voor de luchtmacht, maar wel lang geleden. Het laatste vliegtuig waar de KLU geen tweezitter van had was de F-84 en de



laatste vlieger die daar nog ervaring op had is enige tijd geleden met FLO gegaan.¹

Daarom is extra aandacht nodig voor de betrouwbaarheid en de prestaties van de simulator. Al deze zaken nopen tot een kritische beschouwing van de mogelijkheden en de beperkingen van de verschillende vormen van simulatie.²

Benadering en opbouw

Er zijn diverse benaderingen om naar simulatie te kijken. Men kan simu-

* De auteur werd in 1976 jachtvlieger bij de KLU. In 1985 werd hij experimenteel testvlieger. Hij heeft geparticipeerd in meer dan 100 vliegproeven waaronder meerdere simulatoronderzoeken. Vanaf 1991 bekleedde hij op de luchtmachtstaf de functie van Hoofd Sectie Operationele Behoeft Jachtvliegtuigen en Hoofd Afdeling Operationele Analyse en Research. Sinds november 2004 is hij docent *airpower* op de KMA.

1 Lt.Kol P. Dekkers was de laatste actief dienende KLU vlieger die nog op de F-84 had gevlogen. Hij was met FLO, maar is teruggekeerd in de KLU als commandant van de KLU-reserve.

2 De auteur maakt voor dit artikel gebruik van zijn ervaring met diverse simulatieprojecten binnen de KLU, waaronder het *Unit Level Trainer* (ULT) project F-16, de PC-7 simulator, het *embedded training* project, het project 'ULT joint' en zijn ervaringen als docent met de *Air Operation Battle Management Simulator*. Delen van dit artikel zijn eerder door de auteur gepubliceerd als intern KLU-rapport over simulatie in 2004.

latie beschouwen vanuit technische mogelijkheden, uitgaan van psychologische wetmatigheden over het menselijk leren of afgaan op de wensen van de toekomstige gebruiker. De benadering die ik hier kies is om eerst de operationele taak van de bemanning centraal te stellen.³ Uit de analyse van de taken van de bemanning komt naar voren wat wel en niet getraind kan worden in de vlucht en welke simulatie-opties er voor de diverse taken zijn. Na de evaluatie van de taken zal kort worden ingegaan op de diverse kwaliteiten van de verschillende simulatorcomponenten en welke capaciteiten benodigd zijn bij

Onder: Republic F-84F Thunderstreak
(Foto collectie NIMH)



de simulatie van deze taken. Hierbij staan de psychologische en fysiologische mogelijkheden van de mens centraal. Ten slotte volgen enkele aanbevelingen voor vluchtsimulatie in de toekomst.

Taken

De volgende taken zijn te onderscheiden voor iedere bemanning: normale procedures, noodprocedures en gevechtsprocedures. Daarnaast zullen

sommige bemanningen de simulatoren gebruiken voor het ontwikkelen van nieuwe procedures en concepten; dit wordt momenteel bijvoorbeeld toegepast bij de ontwikkeling van de operationele software voor de JSF.

Normale procedures

Normale procedures omvatten opstarten, *take-off*, *climb*, route vliegen, nadering en landing. Deze worden dagelijks uitgevoerd tijdens de vlucht. Daarom is training voor deze taken alleen nodig bij de conversie naar een nieuw type. Of een simulator wordt gebruikt voor de initiële conversie is uitsluitend een economische afweging: wat kost een simulator ten opzichte van het echte vliegtuig. Van belang is wel dat een groot gedeelte van de initiële training bestaat uit het bekende raken met de andere vliegtuigsystemen, iets wat op een relatief eenvoudige *Flight Training Device* (FTD) kan gebeuren en soms zelfs op een *Part Task Trainer*, wat vaak niet meer is dan een standaard-PC met een programma dat een bepaald gedeelte van de avionica simuleert. Slechts een klein aantal uren is feitelijk nodig om aan de besturing van een nieuw type vliegtuig te wennen, wat een heel getrouwe simulatie vereist.

Noodprocedures

De meeste noodprocedures kunnen fysiek niet in het vliegtuig worden beoefend. Dit geldt met name voor systeemgebonden noodprocedures. Vliegtuigen zijn niet uitgerust om tijdens de vlucht brand te simuleren of fouten in de stroomvoorziening te initiëren, het TCAS⁴ waarschuwingen te laten geven of het EGPWS⁵ te laten afgaan. Deze noodprocedures zullen dus altijd op een simulator moeten worden getraind.

Sommige noodprocedures zijn technisch gesproken goed, maar uit veiligheidsoogpunt niet in het echte vliegtuig te oefenen. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld afgebroken starts en motorstoring na V1.⁶ Andere noodprocedures kunnen uitstekend in het echte vliegtuig worden getraind, zoals naderingen en vertrekprocedures met één motor uit, naderingen met landingsklappen op, et cetera. Het is in de burgerluchtvaart verboden dit soort oefeningen te combineren met de normale taak, maar bij de luchtmacht lenen sommige operationele vlucht opdrachten zich wel voor deze combinaties.

Gevechtsprocedures

Gevechtsprocedures zijn er niet alleen voor F-16 en Apache-vliegers. Zelfs voor transportvliegers komen er steeds meer gevechtsprocedures bij, zoals het werken met elektronische oorlogsvoering (EW) apparatuur, het reageren op *missile*-dreiging en het werken met nachtkijkers. Een groot deel van gevechtsprocedures kan slechts op een simulator worden beoefend, bijvoorbeeld het reageren op een *missile approach warning*. Sommige EW-dreigingen zijn wel te simuleren, maar uitsluitend in bepaalde oefengebieden die voorzien zijn van de daarvoor benodigde EW-simulators.

Een ander interessant punt is de taak van de KLU bemanningen op korte termijn te kunnen uitzenden naar onbekende bestemmingen waarvan niet zeker is of alle luchtverkeersleidingzaken er veilig zijn geregeld. Een simulator met de mogelijkheid de nieuwe omgeving redelijk getrouw weer te geven stelt de bemanning in staat zich beter op haar taak voor te

³ Bij een *battle simulator* is de facto niet altijd sprake van een *crew* die getraind wordt, maar van een *battle manager*.

⁴ TCAS is het acroniem voor *Traffic Collision Avoidance System*; een systeem dat gebaseerd op de uitzendingen van de radartransponders berekent of andere vliegtuigen te dichtbij komen en de vlieger aanwijzingen geeft deze te ontwijken.

⁵ EGPWS is het acroniem voor *Enhanced Ground Proximity Warning System*; een systeem dat gebaseerd op GPS-positie, radarhoogtemeter en digitale terreininformatie berekent of het vliegtuig te dicht de grond of verticale obstakels nadert.

⁶ V1 is de snelheid waarbij de vlieger ook na een motorstoring door moet gaan met zijn *take-off* omdat niet meer gestopt kan worden op de resterende startbaan.

bereiden. Aangezien gevechtsvliegers zelden alleen op pad gaan, maar normaal in grotere formaties optreden, was het eigenlijk al jaren gewenst meerdere simulatoren aan elkaar te koppelen om ook tijdens de simulatie in formatie te kunnen trainen.

De laatste jaren wordt dit steeds meer toegepast; initieel op kleine schaal met simulatoren die naast elkaar waren opgesteld, maar gaandeweg ook met simulatoren die, gekoppeld via een netwerk, honderden kilometers van elkaar verwijderd waren. Van belang daarbij is dat het hier niet alleen gaat om het koppelen van gevechtsvliegtuigen, maar ook van AWACS-simulatoren. Er is ook al geëxperimenteerd met het koppelen van een *Forward Air Controller* (FAC) simulator.

Doctrinewontwikkeling

Nieuwe eigenschappen inbouwen in vliegtuigen kost tijd. In research-simulatoren kan men vrij eenvoudig nieuwe eigenschappen inbouwen en deze in een gesimuleerde omgeving valideren, voordat het product zijn toepassing vindt in vliegtuigen. Maar ook nieuwe gevechtsprocedures zijn vaak gemakkelijker in een simulator te testen onder gecontroleerde en

reproduceerbare omstandigheden. In een vluchtsimulator is de ontwikkeling van procedures op gevechtsniveau mogelijk. In een battle simulator gebeurt hetzelfde, maar op theaterniveau. Natuurlijk ontstaan doctrines ook uit ervaringen met operaties en oefeningen, maar het aantal gelegenheden (vooral voor grootschalige oefeningen) is beperkt, terwijl het aantal variabelen erg groot is. Om een redelijk goede analyse te maken zijn meerdere simulatiesessies noodzakelijk.

Psychologische en fysiologische limieten

Een mens bouwt gebaseerd op alle verschillende prikkels van zijn zintuigen één beeld van de werkelijkheid op. Uit simulatieproeven blijkt dat bij het ontbreken van enkele van deze prikkels, bijvoorbeeld beweging, het opbouwen van een éénduidige perceptie van de werkelijkheid toch mogelijk is. Wanneer er een situatie ontstaat waarbij de prikkels aanleiding geven tot verschillende percepties van de werkelijkheid, dan is er sprake van desoriëntatie. Desoriëntatie kan zowel bij simulatie als bij vliegen voorkomen. Voor vluchtsimulatie vol-

staat het opbouwen van hetzelfde éénduidige beeld van de werkelijkheid als in de vergelijkbare vliegsituatie.

In de psychologie worden diverse vormen van training onderscheiden. Een veel gebruikte indeling is:

- *Skill based*: een vaardigheid die de mens leert om iets automatisch zonder nadenken te doen, zoals lopen, fietsen.
- *Rule based*: processen die volgens vaste procedures gaan, checklisten, noodprocedures en dergelijke. Het leren van regels maakt het mogelijk complexe zaken snel op te lossen en met training zijn deze procedures aan te leren.
- *Knowledge based*: deze problemen kunnen niet automatisch worden opgelost en vergen extra denkwerk.⁷ Een mens kan normaliter maar één knowledge based probleem tegelijk oplossen terwijl hij bijvoorbeeld wel een aantal skill based zaken tegelijk kan doen.

In vliegsimulatie komen zowel skill based, rule based als knowledge based trainingselementen voor. Er kan een skill worden aangeleerd (instrumentvliegen), er kunnen procedures worden uitgevoerd en de vlieger kan worden geconfronteerd met zaken die knowledge based zijn, zoals complexe tactische scenario's of gecompliceerde noodprocedures.

Een belangrijk facet van simulatie is dat iets wat in werkelijkheid volgens een bepaalde manier van trainen verloopt (bijvoorbeeld skill based) in een simulator niet knowledge based mag worden. Een voorbeeld hiervan zou kunnen zijn dat een knop die de vlieger in het echte vliegtuig blindelings vindt, in de simulator een knowledge based zoekactie door de cockpit vergt.

⁷ Bij doctrine-ontwikkeling is natuurlijk wel sprake van *knowledge based* gedrag. Toch is er in feite geen sprake van training in de zin dat iets wordt aangeleerd als vaardigheid, maar van ontwikkeling van bepaalde kennis.



Simulator voor het trainen van de bemanning van de Amerikaanse KC-135 Stratotanker-eenheid op de Britse basis Mildenhall

(Foto U.S. Air Force, M. Morford; collectie NIMH)

Het aanleren van skill based elementen vereist de hoogste natuurgetrouwheid, voor rule based en knowledge based training volstaat vaak een lagere natuurgetrouwheid. Voor het aanleren van een skill hoeft niet de gehele simulator natuurgetrouw te zijn, maar alleen die elementen die voor die betreffende vaardigheid noodzakelijk zijn. Zo zal de bediening van de *flight management computer* vereisen dat dit apparaat correct is nagebouwd, maar daarvoor hoeft de simulator niet te beschikken over de juiste vlieg-eigenschappen.

Wanneer de simulator niet genoeg overeenkomt met de realiteit dreigt *negative training transfer*. In het minst erge geval is de operator tijdens een actuele noodprocedure in de lucht gedwongen om – op knowledge based niveau – de vertaling te maken van de simulator naar het werkelijke vliegtuig, hetgeen beslag legt op kostbare en kwetsbare capaciteit en kan leiden tot verwarring en onzekerheid. In het ergste geval verricht de operator onjuiste handelingen of laat na de juiste handelingen te verrichten.

De klassieke vluchtsimulator

Historie

De vliegsimulator uit de jaren zestig bestond uit een cockpit met diverse door (analoge) computers aangestuurde instrumenten.

Indien de simulator al voorzien was van een visueel systeem dan werd dat niet door een computer gegenereerd, maar door een camera die langzaam over een grote maquette bewoog. Deze grote maquettes waren horizontaal opgesteld en aan het eind voorzien van spiegels zodat de vlieger niet het idee kreeg over de rand van de wereld te vallen of plotseling de koffiejuffrouw (vergroot) in beeld zag. Met het beschikbaar komen van computer-gegenereerde beelden breidde het gebied waarin de simulator vloog zich aanzienlijk uit ten opzichte van de maquette, eerst monochromatisch, maar later ook in kleur. Ook nam het geprojecteerde oppervlak aanzienlijk toe totdat er uiteindelijk *dome simulators* kwamen waarin de vlieger nagenoeg rondom zicht had.

Een andere verandering was dat de simulator steeds meer moest kunnen omdat het vliegtuig over meer systemen ging beschikken. Dat leidde bijvoorbeeld tot de simulatie van radar en wapencomputers. Ondanks de toename aan simulatiecapaciteit slonk de ruimte die alle simulatieapparatuur in beslag nam. De huidige Mid Life Update F-16 simulator beslaat nauwelijks de helft van de ruimte van zijn voorganger, maar kan wel aanzienlijk meer, overigens tegen aanzienlijk lagere kosten. De stelling gaat derhalve op dat de digitale revolutie gunstig is geweest voor de ontwikkelingen op simulatiegebied.

De modulaire opbouw van een vluchtsimulator

Om een goede vluchtsimulator te maken is een aantal modules vereist. De simulatorfabrikant beschikt over het algemeen over een omgevingsmodel. In dit niet-vliegtuigspecifieke model kan een virtuele omgeving worden gecreëerd met onder andere doelen, grondrevingen en gesimuleerde naderingsapparatuur zoals instrument-landingsystemen. Een zeer belangrijke module is het zichtstelsysteem. Ook zichtsystemen zijn niet afhankelijk van vliegtuigtype en worden door gespecialiseerde bedrijven gemaakt. Deze modules beschikken over een standaard interface met de simulator en daarom kan bijna elke simulator met elk zichtstelsysteem werken.

Naast deze twee generieke modellen moet een simulatorfabrikant beschikken over een aantal specifieke vliegtuigmodellen. Ten eerste moet er een vliegtuigprestatie-model zijn. Dit is opgebouwd uit een motormodel, dat voor elke vluchtconditie en gashandstand de beschikbare stuwkracht kan bepalen en uit een vliegtuigmodel, dat onder alle vluchtcondities de weerstand en het vlieggedrag van het toestel kan regelen.

Het moge duidelijk zijn dat op deze twee modellen vaak eigendomsrechten van de vliegtuigfabrikant rusten. Daarom zal het voor een willekeurige simulatorfabrikant moeilijk zijn om zonder medewerking van de vlieg-



Opstelling van een vliegsimulator tijdens de krijgsmachttonstelling Paraat, circa 1960 (Foto collectie NIMH)

tuigfabrikant een goede simulator te maken.

De KLU is hiermee geconfronteerd toen de fabrikant van de PC-7 simulator niet over het juiste model van de PC-7 kon beschikken. De KLU heeft daarop een vliegtestprogramma uitgevoerd om toch de juiste vliegtuigparameters te bepalen en met deze data is het generieke model van de fabrikant afgeregeld.

Een bijzonder probleem bij een simulator is nog dat de krachten en uitslagen op de stuurknuppel zeer nauwkeurig moeten worden gesimuleerd. In werkelijkheid ontstaan deze krachten (bij kleinere vliegtuigen) vaak door de aërodynamische belasting op de stuurvlakken zelf; in de simulator moet een mechanisch of elektrisch regelbare weerstand dit echter simuleren. Naast deze basissystemen dient de fabrikant ook te beschikken over de avionica modellen van het vliegtuig. Deze avionica moet interactief werken met het omgevingsmodel van de fabrikant.⁸ Ook voor het implementeren hiervan is de simulatorfabrikant aangewezen op de vliegtuigfabrikant, of op de fabrikant van de onderhavige avionica. Gezien de veelheid aan avionica die in de huidige vliegtuigen is ingebouwd is het maken van een goede simulator geen eenvoudige zaak. Een gedetailleerde bespreking van een aantal van deze modellen volgt hierna.

Simulatie van avionica en systemen

Aangezien de bediening van avionica een skill is, dienen deze systemen natuurgetrouw te zijn om een goede systeemtraining te geven aan de vlieger. Daarbij komt dat veel avionica-systeemfouten alleen in de simulator worden geoefend en niet in het echte vliegtuig. Daarom zijn afwijkingen tussen werkelijkheid en simulator niet te accepteren. Dit kan één van de duurste facetten van de simulator zijn omdat het de aparte ontwikkeling vereist van elk cockpitstelsel inclusief de gesimuleerde input. Denk hierbij bijvoorbeeld aan TCAS: niet alleen de displays dienen gegenereerd te worden, maar ook de omgeving. Ergo: de

interacties met andere vliegtuigen moeten in de simulatie worden meegenomen. Ditzelfde geldt bijvoorbeeld voor weerradar, EGPWS en *wind shear warning*.⁹

Simulatie vluchtgedrag

Er zijn vele boekwerken, onder meer JAR en FAR¹⁰ circulaire, die beschrijven aan welke nauwkeurigheid verschillende simulatoren moeten voldoen qua prestaties en vlieggedrag. Hoewel er een myriade is aan eisen, is die toch vrij eenvoudig samen te vatten. Ten eerste moet de vlieger op de betrokken instrumenten geen verschil kunnen zien tussen simulatie en praktijk. Dit komt neer op waarden als 1,5 knoop voor snelheid, 100 fpm *rate of climb* en 10 procent van de *take-off roll*.¹¹ Dit soort eisen is dan ook wat meer gespecificeerd terug te vinden in de desbetreffende handboeken.

Ten aanzien van de vliegeigenschappen heeft de ervaring geleerd dat een vlieger een aanzienlijke verandering moet voelen in de respons van een vliegtuig, meestal meer dan 20 procent, voordat hij een verschil merkt.¹² Dit is logisch omdat het vliegtuig, afhankelijk van snelheid en belading, ook een steeds wisselend respons heeft en de vlieger, als terugkoppelend systeem, zoveel input geeft als nodig is. Alle dynamische modes en stuurkrachten hebben derhalve best een ruime marge. Maar er zijn twee gebieden bij de vliegeigenschappen

die wel bijzondere aandacht vragen, namelijk tijdsvertraging en *break-out forces*.¹³ Afwijkingen hierin leiden zeer snel tot instabiele en dus onaanvaardbare simulatorbesturing en moeten daarom tot het minimum beperkt blijven.

Zichtsystemen

Op het gebied van visuele systemen is de laatste jaren grote vooruitgang geboekt. Dit heeft er zelfs toe geleid dat de kwaliteit van een simulator voornamelijk wordt afgemeten aan de kwaliteit van het visuele systeem. Toch is er een aantal kanttekeningen te maken bij visuele systemen.

Ten eerste is het contrastvermogen van alle visuele systemen meerdere orden van grootte lager dan de werkelijkheid.¹⁴ Daarbij is de helderheid van dome-systemen, die wel de meest realistische afmeting hebben, het laagst van allemaal. Daarnaast is de resolutie nog enkele malen kleiner dan de resolutie die de mens in werkelijkheid kan waarnemen.¹⁵ Het gevolg hiervan is dat onder meer diepteschatting en het zien van kleine doelen (bijvoorbeeld andere vliegtuigen) in de simulator aanzienlijk moeilijker is dan in het echt.¹⁶

Als het zicht terugloopt gaat het contrast terug en zal het visuele systeem van de simulator de werkelijkheid beter benaderen; het zal zelfs 100 procent realistisch worden bij nul zicht.

8 Onder andere de radar, doelaanwijsapparatuur, vlieginstrumenten, radio's en naderingshulpmidelen.

9 De *wind shear warning* geeft in het vliegtuig een waarschuwing als er tijdens de landingsfase een sterke windverandering optreedt; deze waarschuwing moet natuurlijk ook zijn geïntegreerd met de vliegbeweging en het visuele systeem.

10 JAR = *Joint Airworthiness Regulation* (Europees); FAR = *Federal Airworthiness Regulation* (VS).

11 *Take-off roll* = start.

12 Belangrijk zijn de frequentie en demping van de diverse dynamische modes en de benodigde stuurkrachten die vereist zijn voor de beweging om de drie assen. Daarnaast moeten ook de stuurkrachten worden gemodelleerd die nodig zijn bij een configuratie of vermogensverandering.

13 *Break-out forces* = minimumkracht om een reactie te krijgen.

14 Het dynamische contrastvermogen ligt in werkelijkheid snel een miljoen maal hoger dan thans met de beste systemen kan worden bereikt.

15 De beperkende factoren zijn met name de aantallen pixels die kunnen worden doorgerekend. Er zijn sommige systemen die gebruik maken van hoge-resolutieweergave in het centrale deel van het gezichtsveld. Deze uitbatie biedt wel de mogelijkheid van een hoge resolutie zonder dat een zeer groot aantal pixels uitgerekend moet worden. De vlieger is zich echter wel altijd van deze 'insert' bewust.

16 Daarom worden bijvoorbeeld andere vliegtuigen in de simulator altijd groter afgebeeld dan zij in werkelijkheid zijn om zo het gebrek aan contrast te corrigeren.



F-16 simulator (Operational Flight Trainer), vliegbasis Gilze Rijen

(Foto Mindef, DV, H. Keeris; collectie NIMH)

Omdat veel simulaties juist voor de moeilijke vluchtsituaties plaatsvinden is met name bij instrumentvliegtraining zeer goed met de gebreken van het systeem te leven. Maar voor tactische scenario's kan een zichtstelsel bijna nooit goed genoeg zijn. Ondanks de verbeteringen in computer- en displaytechnologie ligt het niet in de verwachting dat visuele systemen spoedig de werkelijkheid zullen benaderen.

Een andere vraag is hoe groot de projectie van een visueel systeem moet zijn. Daarbij zijn twee zaken van belang.

Ten eerste draagt het perifere gezichtsveld bij tot verbetering van het zien van snelheid en het schatten van hoogte, wat belangrijk is voor landing en laagvliegen.

Ten tweede is een groot visueel systeem essentieel voor het vliegen van *traffic patterns* en het simuleren van

gevechtsscenario's. Wanneer men deze elementen niet in de simulator wenst te beoefenen kan een beperkt visueel systeem volstaan.

Beweging

De mens is niet in staat beweging te voelen; hij merkt slechts acceleratie op en daarbij ligt het accent ook nog op de acceleratieverandering. Dit komt doordat de mens went aan een constante kracht en voornamelijk krachtverandering registreert. Van deze menselijke gebreken maakt het bewegingssysteem van een simulator dankbaar gebruik.

Het grote verschil tussen de 'bewegingssensoren' van de mens en de ogen is het verschil in reactietijd. Ogen werken veel trager en daarom kan een mens zichzelf ook veel gemakkelijker rechtop houden met zijn ogen dicht dan een stok op zijn hand balanceren met zijn ogen open.

Naar bewegingssensoren is veel onderzoek gedaan.¹⁷ Uit deze onderzoeken komen een aantal dingen naar voren. Het is gebleken dat vliegers beter verstoringen tegengaan indien zij in een simulator met bewegingssimulatie vliegen. In praktische termen: de hand reageert op de verandering van acceleratie voordat het oog deze heeft gesignaleerd.¹⁸ Bij bewuste bewegingen werkt het bewegingssysteem remmend, maar daardoor ook stabiliserend.¹⁹ Deze hogere stabiliteit is met name gewenst bij snelle *high gain* taken. Voorbeelden hiervan zijn onder meer formatievliegen en de laatste fase van de landing. Ten slotte helpt bewegingssimulatie bij het detecteren van zijwaartse versnelling (*side slip*) die visueel nauwelijks is op te merken.²⁰ De conclusie is dus dat bewegingssimulatie belangrijk is indien men in de simulator *high gain* taken wil oefenen en realistische *side slips*. Maar tevens heeft onderzoek gelukkig aangetoond dat het ontbreken van bewegingssimulatie niet heeft geleid tot een negatieve training transfer.

Mogelijkheden

De huidige vluchtsimulatoren bieden een breed scala aan mogelijkheden. Zo zal de vlieger die bezig is met converteren op type de simulator gebruiken om bekend te raken met alle mogelijkheden van de vaak complexe avionica en met alle normale procedures en noodprocedures. Het is natuurlijk veel goedkoper om dit te doen in een simulator dan in het echte vliegtuig. Bij jachtvliegtuigen vindt het leren vliegen van een nieuw type toch voornamelijk in het echte vliegtuig plaats. De simulator is daar, bij gebrek aan een bewegingssimulator, minder geschikt voor. Daarnaast is een bewegingssimulator totaal ongeschikt voor het genereren van de hoge g-krachten die voorkomen tijdens tactische missies. Bij militaire vliegtui-

¹⁷ 'The effect of simulator motion on pilot training and behaviour', American Institute of Aeronautics and Astronautics 2000-4296; 'Simulator fidelity requirements for airline pilot training and evaluation', Proceedings 12th International Symposium on Aviation Psychology; 'Simulator platform motion-the need revisited', *International Journal of Aviation Psychology*, Vol 8, No 3, 1998.

¹⁸ In technische termen: de kantelfrequentie neemt aanzienlijk toe en zij kunnen daarmee dus hogere frequenties aan dan in simulatoren zonder deze bewegingssimulatie. Dit is logisch omdat het oog de verplaatsing registreert en niet de acceleratie en het duurt enige tijd voordat er een merkbare afwijking is opgebouwd. Ook een goed visueel systeem, waarop kleine verstoringen kunnen worden gezien, draagt bij aan het verhogen van de kantelfrequentie.

¹⁹ Kantelfrequentie wordt dus bij manoeuvres lager.

²⁰ *Side slip* veroorzaakt *roll* en een toename van de dwarskracht. Visueel wordt door de vlieger alleen de *roll* opgemerkt en daarop wordt standaard gereageerd met aileron. De dwarskracht blijkt uitsluitend uit een klein balletje in de slipindicator.

gen waarmee geen hoge g-krachten zijn toegestaan (transportvliegtuigen en helikopters) is de simulator eerder te gebruiken voor (een gedeelte van) de primaire vliegtraining.

Ook voor de ervaren vlieger blijft een bezoek aan de simulator nuttig, niet alleen voor de reeds eerder vermelde noodprocedures en het beoefenen van instrumentvliegen. In tactische scenario's biedt de simulator de mogelijkheid tegenstanders te creëren waarmee in werkelijkheid niet altijd kan worden geoefend. Ook zijn allerlei soorten grond dreiging en doelen te simuleren. In de simulator is daadwerkelijk na te bootsen dat er missies op het vliegtuig afkomen, iets wat in de dagelijkse training toch niet erg voor de hand ligt. Voor tactische scenario's is het wel noodzakelijk dat de simulator voorzien is van een zo'n groot mogelijke visuele display.

Beperkingen

De voornaamste tekortkomingen van de huidige *stand alone* simulator zijn de beperkingen van het visuele systeem ten opzichte van de werkelijkheid, de onmogelijkheid om met andere formatieleden samen te trainen en het gebrek aan bewegingssensoren die zowel de kleine acceleraties als de hoge g-krachten kunnen opwekken.

'Ab initio' training

Met de JSF zal de KLU weer in een situatie komen dat de eerste vlucht in een nieuw type meteen de eerste solo vlucht is. Vermoedelijk zal een volgvlieger deze vlucht wel begeleiden, maar toch dient de simulatietraining van de kersverse JSF-vlieger op een hoger niveau te staan dan thans, willen wij hetzelfde veiligheidsniveau handhaven.

Gezien het eerder besproken verband tussen enerzijds het goed kunnen simuleren van high gain taken zoals *air refueling* en landen en anderzijds bewegingssimulatie, lijkt het zinnig te eisen dat de 'ab initio training' plaatsvindt op een simulator die hierover beschikt. Overigens hoeft dit geenszins te betekenen dat elke JSF-simula-

tor deze capaciteit heeft; er wordt tenslotte veel meer gedaan in simulatoren dan het opleiden van nieuwe vliegers.

Een mogelijkheid binnen Nederland is om de MLU simulator van het Nationaal Lucht en Ruimtevaartlaboratorium (NLR), die beschikt over een geavanceerde dome display en bewegingssimulatie, hiervoor te gaan gebruiken. Hiermee zou het NLR zijn simulatiefaciliteit op peil kunnen houden en de KLU zou zonder al te hoge investeringen een zeer geavanceerde simulatiecapaciteit krijgen. Voorwaarde is natuurlijk wel dat de juiste modellen voor de simulatie beschikbaar komen en dat de NLR-simulator deze met voldoende nauwkeurigheid kan simuleren.

Embedded training

Wat is embedded training?

Embedded training is het tijdens de vlucht simuleren van bepaalde zaken die de trainingswaarde van de vlucht kunnen vergroten. In de meest eenvoudige vorm kan de huidige *mission fly-out* berekening, weergegeven op de *Head Up Display* (HUD) en op de *Multi Function Displays* (MFD) van een F-16, worden gezien als een vorm van embedded training. Tenslotte vliegt er geen echte missile, maar de computer berekent wel waar die zou vliegen indien deze was afgevuurd en of deze het doel zou kunnen bereiken.

Een volgende stap is het simuleren van radardoelen (zodat minder 'Red Air' support sorties nodig zijn) en het simuleren van radardreiging op de *Radar Warning Receiver* (RWR).²¹ In de meest geavanceerde vorm valt zelfs te denken aan het simuleren van bepaalde dreiging op de visor; hiervoor dienen de *Helmet Mounted Visual Systems* echter nog aanzienlijk verbeterd te worden.

Het concept van embedded training bevindt zich thans nog in een ontwikkelingsfase. Eind jaren negentig hebben het NLR en Fokker Space een

prototype ontwikkeld en dit in 2000 gesimuleerd in de NLR F-16 MLU simulator. Het belangrijkste element om te ontwikkelen was een systeem waarbij een embedded simulator veilig gebruikt kon worden zonder vitale functies van het vliegtuig nadelig te beïnvloeden.

Nadat deze proef was geslaagd bestond er belangstelling bij het NLR en bij het Projectbureau Vervanging F-16 om dit ook in een F-16 te demonstreren. Aanvankelijk wilde het NLR een beperkt project met alleen het simuleren van radardreiging op de RWR, gebaseerd op de positie van het vliegtuig.

De auteur was zelf bij dit project betrokken als hoofd van de Afdeling Operationele Research en Evaluatie (AORE) en heeft zich er destijds sterk voor gemaakt het project ambitieuzer op te zetten en ook radardoelen te genereren. Om dit mogelijk te maken moest het NLR een *gateway* maken tussen de radar en de *Modular Mission Computer* (MMC). Deze gateway geeft onder normale omstandigheden de doelen uit de radarcomputer door, maar onder gesimuleerde omstandigheden worden de radarsignalen afgevangen en indien nodig gemengd met de gesimuleerde radardoelen die de embedded training computer genereert. Omdat onder gesimuleerde omstandigheden de vlieger de kunstmatige radar bedient, moet de embedded training computer ook de bediening van de radar overnemen.

Kunstmatige intelligentie

Het simuleren van alleen radardoelen is op zich niet bijzonder ingewikkeld.²² Maar voor een jachtvlieger heeft het aanvallen van een eenparig bewegend doel nauwelijks trainingswaarde. Hij wil een doel dat reageert. Om dit mogelijk te maken moesten de

21 'Red Air' support sorties = sorties die worden gevlogen om de tegenstander te simuleren en die dus minder oefenwaarde hebben.

22 Een vliegbaan moet vanuit geografische coördinaten worden omgerekend naar een relatieve positie ten opzichte van de radar en er dient te worden berekend of gezien het scanpatroon, de Doppler van het doel en de radarcrosssectie, detectie mogelijk is.

doelen voorzien worden van een zekere mate van kunstmatige intelligentie. Samen met het NLR hebben de F-16 testvliegers van AORE enkele routines bedacht zodat het doel zich interactief gedragen en reageerde op de acties van de vlieger.

Omdat het doel meerdere reactiemogelijkheden kreeg werd het voor de vlieger die er mee oefende een realistisch aandoend scenario. De test met dit systeem is uiteindelijk in 2004 uitgevoerd en bijgewoond door operators van het JSF Office en van LMTAS.²³ Beide Amerikaanse organisaties waren onder de indruk van wat het NLR in samenwerking met de KLU had ontwikkeld.

Mogelijkheden

Embedded training biedt de mogelijkheid om met doelen te oefenen die er niet zijn. Het is altijd moeilijk om met realistische doelen te oefenen; meestal wordt geoefend met andere F-16's en deze zijn daar niet altijd voor geschikt. Werkelijke doelen kunnen een andere radarcrosssectie hebben, geven een andere indicatie op de RWR en hebben andere vliegprestaties. Daarnaast zijn doelvliegtuigen niet altijd beschikbaar in voldoende aantallen.

Een ander voordeel is dat deze gesimuleerde vliegtuigen niet gebonden zijn aan de beperkingen van het luchtruim. Luchtruim is een schaars goed en een oefengebied is al gauw te klein om operaties van enige omvang uit te voeren.²⁴ Embedded doelen kunnen echter gedeeltelijk daarbuiten vliegen. Ten slotte biedt het embedded oefenen van RWR-dreiging de mogelijkheid om overal in het oefengebied een gesimuleerde grondgebonden

luchtverdediging neer te leggen. Omdat het grootste deel van het oefengebied boven zee ligt, waar deze voorzieningen meestal niet zijn, is dit een grote aanwinst voor de training.

Beperkingen

De belangrijkste beperking van het geteste embedded training systeem is dat het nu nog slechts geschikt is voor één vliegtuig. Wanneer met het huidige systeem twee vliegtuigen samen zouden opereren, dan zou door het interactieve karakter van de simulatie deze in het ene vliegtuig anders kunnen gaan lopen dan in het andere.

Voor grootschalige toepassing dienen deze scenario's natuurlijk synchroon te blijven. Een mogelijkheid zou zijn hiervoor het *Intraflight Data Modem* (IDM) te gebruiken, maar dit concept behoeft nog verdere ontwikkeling. Wel staat vast dat embedded training wordt meegenomen in het JSF-project.

Een tweede beperking van embedded training is dat alleen radarsystemen en radardoelen zijn te simuleren. Het visueel aanvallen van doelen en het visueel laten zien van afgevuurde raketten is nog niet mogelijk en zal een hoogwaardige display op de helm vereisen.

Gekoppelde simulatoren

Experimenten

Het koppelen van simulatoren is vrij oud. In het verleden zijn bijvoorbeeld *dogfight* simulatoren ontwikkeld waarbij twee vliegers een luchtgevecht konden simuleren. Deze simulatoren stonden echter wel in hetzelfde gebouw. Op een zelfde wijze zijn ook de twee Apache-simulatoren op Vliegbasis Gilze-Rijen gekoppeld en twee MLU F-16 simulatoren op vliegbasis Volkel. Deze manier van koppelen is relatief simpel; de twee simulatoren zijn van één en dezelfde fabrikant, dus compatibel met elkaar. Verder kunnen beide simulatoren vanuit één simulatiemodel worden aangestuurd. Het grote voordeel van deze opstelling is uiteraard dat er nu ook tactisch kan worden getraind.

Maar de werkelijkheid is complexer: er wordt geoefend met verschillende soorten vliegtuigen en nationaliteiten. Wil men realistische *Composite Air Operations* (COMAO) simuleren, dan is het nodig dat een groot aantal spelers participeert. De KLU heeft tot nu toe aan twee van dergelijke experimenten meegedaan. Het eerste experiment was een nationale oefening, ULT Joint.²⁵ In dit experiment werden en-



Testen van een air traffic control simulator op Travis Air Force Base, Californië (Foto U.S. Air Force, K. Cilia; collectie NIMH)

²³ LMTAS = Lockheed Martin Tactical Aircraft Systems.

²⁴ Gesimuleerde onderscheppingen worden op grote afstand en vaak ook supersoon uitgevoerd. Dat vraagt om een groot oefengebied wat vrij is van civiel luchtverkeer en bij voorkeur ook niet boven bewoond gebied ligt.

²⁵ ULT = Unit Level Trainer, de officiële benaming voor de F-16 simulator van de KLU.

kele nationale simulatiefaciliteiten verbonden met enkele ULT's. Zelfs dit relatief kleinschalige experiment bleek moeilijk. Initieel was het wachten op genoeg breedbanddataverbindingen en ook waren er allerlei gateways nodig om te compenseren voor de protocolverschillen tussen de diverse simulatoren. Verder vroeg het realiseren van de spraakverbindingen tussen de spelers ook het nodige. Men kan tenslotte niet volstaan met een soort conferentieschakeling, want alleen spelers op dezelfde (gesimuleerde) radiofrequentie kunnen elkaar horen.

Er bestaan diverse protocollen voor de onderlinge data-uitwisseling van simulatoren. Maar niet elke fabrikant interpreteert de protocollen identiek. Verder zijn er vaak meerdere versies van hetzelfde protocol. Uiteindelijk is het project – enkele jaren later dan initieel voorzien – wel degelijk succesvol afgerond en was er veel ervaring opgedaan met de eisen om op grotere schaal simulatoren te koppelen.

Het tweede experiment waaraan de KLU deelnam was *First Wave*, een NAVO-oefening met de koppeling van simulatoren van diverse landen. Bij deze oefening komt er een groot probleem om de hoek kijken: *releasibility*. Vliegtuigen, en vooral jachtvliegtuigen, zitten vol met systemen waarvan de capaciteiten geheim zijn, ook voor andere NAVO-landen. Zo zal een goede simulatie vereisen dat de RWR van een doelvliegtuig op het juiste moment alarmeert, maar daarmee wordt meteen het bereik van de aanstralende radar weggegeven. Indien in de simulatie een missile wordt afgevuurd, vertelt dat wat over het bereik van deze missile. Daarom wil men deze informatie niet altijd uitwisselen.

Ook bij internationale vlieg oefeningen wordt meestal niet uitgewisseld wanneer er geschoten is, maar alleen

of de actie succesvol was, dat wil zeggen, of de missile gesimuleerd het doel heeft vernietigd. Dat is op zich heel bruikbaar voor oefeningen waarbij echt gevlogen wordt, maar juist bij simulatie wil men de gesimuleerde missile wel zien vliegen. Het was dan ook niet verwonderlijk dat een aantal landen niet meedeed. De Amerikanen trokken zich op het laatste moment terug omdat zij geen toestemming kregen van hun beveiligingsautoriteit. Maar logistiek gezien heeft de vs *First Wave* wel ondersteund. Ondanks deze tegenslagen slaagde de opzet uiteindelijk: er is een succesvolle multinationale oefening geweest met gekoppelde simulatoren.

De belangrijkste bevinding van deze oefening was dat deze manier van trainen potentieel heel effectief kan zijn.²⁶ Er waren echter ook problemen: de verbindingen tussen de spelers waren niet altijd stabiel en die zijn toch een *conditio sine qua non*. Een ander punt is dat er niet alleen goede en stabiele breedbandverbindingen nodig zijn voor de simulatie, maar ook voor de gezamenlijke planning, briefing, debriefing en het naspelen van de oefening. Dat laatste is allesbehalve triviaal: tijdens de debriefing en het naspelen wordt het meeste geleerd.

Simulatoren of Computer Generated Forces?

Gezien de grote moeite die het kost om grootschalige oefeningen te doen met gekoppelde simulatoren is het goed om ook te kijken naar de afweging tussen *Computer Generated Forces* (CGF) en gekoppelde simulatoren. CGF creëren binnen de simulatieomgeving een aantal medespelers en tegenspelers die meestal via een eenvoudige console één of meerdere vliegtuigen aansturen. Het voordeel hiervan is dat deze vliegtuigen wel degelijk interactief zijn en dat met eenvoudige middelen een groot aantal medespelers is te creëren. Ook zijn er geen uitgebreide verbindingen nodig. Anderzijds kunnen deze CGF natuurlijk niet even realistisch werken als een gekoppelde vluchtsimulator.

Maar CGF lijken als aanvulling op gekoppelde simulatoren zeer bruikbaar.

Analyse

Het lijkt evident dat gekoppelde simulatoren een grote meerwaarde hebben en ze het enige middel zijn om tactische training met een hele formatie te oefenen. Maar de inspanningen die nodig zijn om een goede stabiele omgeving te creëren voor internationale training zijn niet gering. Daarnaast lijkt het niet waarschijnlijk dat de veiligheidsproblemen snel opgelost zijn, zeker niet bij de Amerikanen, die in onze optiek overmatig veiligheidsbewust zijn.

Maar de koppeling van gelijkvormige simulatoren, zeker als dit in één gebouw gebeurt, is relatief simpel te realiseren. Voorlopig biedt deze combinatie, voorzien natuurlijk van de mogelijkheid om een groot aantal CGF te maken, de beste vooruitzichten. Hierbij is wel de eis dat de te koppelen simulatoren hoogwaardig zijn, dus voorzien van een groot visueel systeem en een getrouwe weergave van alle avionica. Bewegingssimulatie is niet noodzakelijk voor elke simulator, mits de te converteren vlieger wel de mogelijkheid heeft in een simulator met bewegingssimulatie te vliegen voordat hij zijn eerste vlucht maakt.

Battle simulatoren

Wat zijn battle simulatoren?

Vliegers oefenen missies, maar de theatercommandant en zijn staf willen graag de gehele luchtstrijd oefenen. Dat vereist de simulatie van een hele COMAO en ook de gehele luchtverdediging. Dit soort simulatoren is bijzonder bruikbaar voor het opleiden van bijvoorbeeld gevechtsleiders, maar ook voor toepassing op een Combined Air Operation Centre voor een pre-run van een COMAO. Ook op de KMA is een dergelijke simulator in gebruik, nu nog voornamelijk voor onderwijsdoeleinden, maar in de toekomst mogelijk ook voor doctrine-analyse.

²⁶ Gebaseerd op rapport BDL opdracht 04-46.

Omdat nu veel meer vliegtuigen worden gesimuleerd is de nauwkeurigheid van elk afzonderlijk toestel en met name de nauwkeurigheid van elke interactie geringer.

De KMA en het CRC Nieuw Milligen²⁷ gebruiken als battle simulator de Teleplan AOBMS.²⁸ De AOBMS gebruikt voor de prestatieberekeningen simpele *look-up tables* die (afhankelijk van hoogte en snelheid) klimvermogen en brandstofverbruik geven. Verder wordt een aantal standaardwaarden ingevoerd zoals maximale snelheid en maximale draaisnelheid. Toch zijn deze gegevens goed genoeg om een realistisch beeld te geven dat lijkt op het *Recognized Air Picture* (RAP) van een gevechtsleider.

Bij de berekening van het RAP houdt de simulator rekening met de radarcrosssecties van de doelen en de capaciteiten van de radar. Gebaseerd op de digitale hoogtedata is zelfs het radarbereik te bepalen. In de gebruikte Teleplan-simulatoren is de nauwkeurigheid van wapensimulatie wat minder. Wapens krijgen een vast bereik en een vaste trefkans. In werkelijkheid is het wapenbereik sterk afhankelijk van de wijze waarop het doel manoeuvreert. Moet een raket manoeuvreren, wat veel energie kost, dan neemt het bereik sterk af. Daarnaast kan het beoogde trefpunt, door de manoeuvre van het doel, verder weg en dus buiten het bereik van de raket liggen. Verder is een raket niet alleen door manoeuvres te ontwijken, maar ook door *chaff*, *flares* en *jammers* te misleiden.

Dit soort effecten moet in deze simulaties van tevoren worden verdisconteerd in de trefkans. Ook de individuele vliegtuigen zijn zeer beperkt in hun bewegingsruimte tijdens het gevecht: er is een simpele keuze uit een zeer beperkt aantal manoeuvres en tussen de vliegtuigen in een formatie bestaat geen tactische coördinatie. Formaties vallen andere formaties aan en wapens treffen doel gebaseerd op hun trefkans. Wel geeft het systeem de mogelijkheid de trefkans te variëren afhankelijk van het soort doel. Naast deze beperkingen kent het pro-



F-35 Joint Strike Fighter (Foto AVDD, H. Westendorp; collectie NIMH)

gramma een groot aantal realistische mogelijkheden die van vitaal belang zijn voor het organiseren van een COMAO zoals tankers, *stand-off jammers* en *suppression of enemy air defense* (SEAD). Tevens houdt het programma keurig rekening met *turn around* tijden nadat het vliegtuig weer is geland.

Mogelijkheden

Een normale vluchtsimulator kent eigenlijk maar één soort gebruiker, namelijk de operator van het vliegtuig. Battle simulators kennen echter diverse gebruikers. Zo is op de KMA de battle simulator in gebruik als les-hulpmiddel om de cadetten gevoel bij te brengen voor de tijd- en ruimtefactoren van airpower. Voor dit doel dient ook de simulator op het CRC Nieuw Milligen, maar dan voor de majoorcursus. Op het CRC Nieuw Milligen wordt de battle simulator te-

vens gebruikt voor de opleiding van gevechtsleiders.

Maar er zijn nog veel bredere toepassingen. Zo gebruikten de Amerikanen battle simulators in de *Operational Requirements Definition Phase* van het JSF project.²⁹ Door een scenario na te spelen met verschillende soorten JSF-vliegtuigen kon men een beter gevoel krijgen voor de eigenschappen die werkelijk nodig waren. Gezien de vele variabelen die de effectieve inzet van een wapensysteem bepalen en waarvan de onderlinge verbanden niet altijd duidelijk zijn is deze *wargaming* een krachtig en nuttig hulpmiddel voor het vergelijken van platformcapaciteiten. Deze methode is verre te verkiezen boven de in Nederland gebruikte multi-criteria-analyse van TNO.³⁰

De battle simulatie stond echter niet op zichzelf. Er vonden bijvoorbeeld

²⁷ Control and Reporting Centre Nieuw Milligen coördineert alle luchtgevechtsoperaties in het Nederlandse luchtruim en leidt ook de luchtgevechtsleiders op.

²⁸ Air Operation Battle Management Simulator.

²⁹ In 1998 mocht een aantal officieren van de KLu, onder wie de auteur, een deel van deze simulaties bijwonen.

³⁰ Er kleven diverse nadelen aan de multi-criteria-analyse van TNO. Ten eerste is het systeem additief, terwijl de diverse capaciteiten elkaar eerder versterken, dus eigenlijk vermenigvuldigd moeten worden. Een tweede bezwaar is dat het belang van elke factor door een 'expert' moet worden ingeschat. De beoogde expert is echter expert in het gebruik van het platform als geheel en kan heel moeilijk het relatieve nut van elke deeleigenschap inschatten. In een battle simulatie hoeft echter alleen de gewenste eigenschap gedimensioneerd te worden en komt het effect uit de simulatie.

ook simulaties in ‘gewone’ vlucht-simulators plaats waarbij de JSF het in luchtgevechten moest opnemen tegen andere vliegtuigen. Uit deze simulaties kwamen dan weer effectiviteitsindicaties voor het voeren van de battle simulatie. Een andere mogelijkheid is doctrine-ontwikkeling en wargaming. Een scenario is immers op diverse manieren te spelen en zo kan een optimale campagne worden ontworpen.³¹

Beperkingen

De belangrijkste beperking van een battle simulator is dat de complexe materie van bijvoorbeeld een luchtgevecht, waarbij niet alleen de platformeigenschappen maar zeker ook de kwaliteiten en de geoefendheid van de vlieger een doorslaggevende rol spelen, wordt vertaald naar simpele verliesratio's en trefkansen. Dat betekent dat aan deze cijfers goede simulaties en resultaten van oefeningen ten grondslag moeten liggen. Een ander belangrijk facet is het juist inschatten van de capaciteiten van de

tegenstander. Dit laatste is met name moeilijk als men naar *Effect Based Operations* (EBO) gaat. Het is simpel te berekenen dat van een vliegveld de komende tijd geen vliegtuig opstijgt als de startbaan is omgeploegd met tientallen bommen, maar wat is het cumulatieve effect van één bom op de verkeerstoren, één op een brandstoftank en één op de crewroom?³²

Sterkte- en zwakteanalyse

Het doel van alle training is om de bemanning alle benodigde vaardigheden bij te brengen voor het uitvoeren van haar oorlogsmis­sie. Bij de evaluatie van de verschillende trainingsmethoden dient dit doel dan ook centraal te staan en mag idealiter niet vooraf een suboptimalisatie als beperking van het aantal vliegers worden opgelegd.

Vanuit dit doel redenerend kan elke vaardigheid separaat worden beschouwd en is te evalueren op welke

wijze deze optimaal kan worden uitgevoerd.

Elke wijze van oefening heeft nu eenmaal bepaalde beperkingen. Zo zullen noodprocedures bij voorkeur niet onder reële omstandigheden worden geoefend, maar zijn dogfights het best in het echt te trainen. Het is goed mogelijk dat geen van de oefenwijzen ideaal is, maar dat een combinatie nodig is om het optimale resultaat te bereiken. De onderstaande tabel is uitgewerkt voor de F-16, maar is ook op andere types toepasbaar. In de tabel zijn de diverse taken afgezet tegen de diverse trainingsmogelijkheden.³³ Bij embedded training is alleen wat ingevuld indien het systeem iets extra geeft boven het normale

³¹ Een niet onaardige bijkomstigheid is dat een battle simulator werkt op een aantal gekoppelde standaard PC's. De enige echte investering is de software en natuurlijk de tijd die benodigd is om de juiste platformeigenschappen erin te programmeren.

³² Zie ook Warden over EBO in *The Air Campaign*, p. 152 e.v.

De simulatiemogelijkheden matrix

TAAK	Vliegen	Simulatoren	Simulatoren met netwerking	Embedded training	Battle simulatoren
Normale procedures	Goed	Goed	Goed	Nvt	Nvt
Noodprocedures	Slecht	Goed	Goed	Nvt	Nvt
Instrumentvliegen	Redelijk (A)	Redelijk(B)	Redelijk(B)	Nvt	Nvt
Vliegen algemeen	Goed	Matig (C)	Matig (C)	Nvt	Nvt
<i>Basic fighter manoeuvres</i>	Goed	Slecht (D)	Slecht (D)	Nvt	Nvt
Luchtgevecht VID*	Goed	Slecht (D)	Slecht (D)	Slecht(E)	Nvt
Luchtgevecht BVR	Redelijk(F)	Matig (G)	Goed	Goed	Matig(K)
<i>Air to ground low level</i>	Goed	Slecht (G+H)	Slecht (H)	Nvt	Nvt
<i>Air to ground medium level</i>	Goed	Matig(G)	Goed	Nvt	Nvt
<i>Air to ground dreiging</i>	Slecht(I)	Goed	Goed	Goed	Nvt
Operaties met NVG's	Goed	Matig (J+G)	Matig (J)	Nvt	Nvt
<i>Prerun cameo's</i>	NVT	Nvt	Goed	Nvt	Goed
Battle simulatie	Slecht (L)	Matig	Goed	Slecht	Goed
Doctrine-ontwikkeling	Slecht (M)	Matig	Goed	Slecht	Goed

* VID = *visual identification*; BVR = *beyond visual range*.

vliegen, want feitelijk sluit embedded training natuurlijk ook alle mogelijkheden van het gewone vliegen in.

Analyse

Essentieel

Uit de matrix blijkt dat onder sommige omstandigheden trainingssystemen beter zijn dan *real flying*. Deze zijn in groen aangegeven. Hierbij gaat het vooral om noodprocedures, radar intercepts, nachtoperaties en grondluchtdreiging. Voor deze vijf deelgebieden is simulatie dus essentieel om een adequate training te realiseren. Wat ook blijkt is dat waar embedded training het goed doet, dat ook geldt voor de gekoppelde simulatoren. In blauw zijn verder aangegeven die gebieden waarin een simulator even goed scoorde als echt vliegen. In deze gebieden is het mogelijk een deel van de opleiding op de simulator te doen.

Kosteneffectiviteit

De kosteneffectiviteit van de verschillende trainingsmiddelen is zeer verschillend. Bij de vliegereisen spelen voornamelijk de marginale kosten een rol. Immers, de aanschafkosten dienen voor het verkrijgen van een bepaalde gevechtswaarde en de training wordt dus nagenoeg geheel gedragen door de marginale kosten en de aanschaf van de vredesattributievliegtuigen.

De kosten van een simulator zijn voornamelijk bepaald door aanschaf en upgrades. De personele en onderhoudskosten spelen een aanzienlijk

kleinere rol. Over gekoppelde simulatoren zijn nog geen goede cijfers voorhanden, maar de kosten van hoogwaardige dataverbindingen voor simulatie, videoconferencing en (de)briefings zijn substantieel. Daarom is het de verwachting van de auteur dat deze simulatoren in gebruik aanzienlijk duurder zijn dan de niet-gekoppelde simulatoren. Embedded training vraagt, naar alle waarschijnlijkheid, alleen software-wijziging in het vliegtuig en zal geen hardware vereisen. Dit betekent dus geen marginale kosten en alleen aanschafkosten. Met embedded training zijn besparingen te realiseren in het gebruik van doelvliegtuigen.

Gewenste training, beschikbare training

Uit het voorafgaande moge duidelijk zijn dat vluchtsimulatie een noodzaak is om het gewenste trainingsniveau te bereiken en dat een groot aantal missies met (gekoppelde) simulatoren of met behulp van embedded training dient te worden uitgevoerd. Daarnaast is er ook de mogelijkheid een aantal missies te vervangen door synthetische training. Echter, dit leidt niet noodzakelijkerwijs tot besparingen.

In de huidige regelgeving zijn terecht minimale eisen gesteld ten aanzien van de training, waarbij de training per type vlucht is gespecificeerd. Wanneer een jachtvlieger in alle facetten current dient te zijn is het aantal vereiste uren veel groter dan het aantal beschikbare uren in het jaarlijkse oefenprogramma. Maar door uitvoering van een goed synthetisch trainingsprogramma kan de vlieger wel met hetzelfde aantal uren in meer facetten current blijven.

Overigens, ook bij de helikopteroperaties is er de laatste jaren een flinke uitbreiding van het aantal taken geweest, maar zijn de beschikbare trainingsuren niet ruim bedeed.³⁴ Kortom, synthetische training stelt de vlieger in staat om meer taken aan te kunnen en voor sommige taken is de

synthetische training zelfs de beste mogelijkheid.

Zelfs wanneer het theoretisch mogelijk zou zijn nagenoeg alle missiefragmenten in een simulator na te bootsen, moet men zich afvragen of dat gewenst is. Het geheel is meer dan de som van de afzonderlijke delen en geen enkele simulator kan het complete vlieggevoel nabootsen. De vlieger moet ook vertrouwd raken met een op zich onnatuurlijke omgeving. Daarom dient een vlieger minimaal een aantal uren in de 'echte omgeving' door te brengen.

In de praktijk betekent dit dat met name jonge vliegers veel uren moeten maken: in een later stadium kan dan met minder worden volstaan. Dit strookt met de praktijkervaring die zegt dat vliegers met meer dan duizend uur goed in staat blijken met een half JOP op niveau te blijven, terwijl jonge vliegers eigenlijk dagelijks moeten vliegen om progressie te maken in hun vaardigheden.³⁵

Het operationele vliegbedrijf is meer dan de getraindheid van de vlieger. Alle ondersteunende diensten leveren prestaties. Indien er echter geen vliegoperaties plaatsvinden of op zeer beperkte schaal, dan zal de onderhoudsorganisatie nooit op haar oorlogstaak berekend zijn. Hetzelfde geldt natuurlijk ook voor andere ondersteunende diensten, zoals verkeersleiding, gevechtsleiding, et cetera. Als er een wanverhouding bestaat tussen de in vredetijd te produceren uren en de verwachte prestatie in crisistijd bestaat het gevaar dat de organisatie dat dan niet kan opbrengen.

Natuurlijk kan het vliegbedrijf in crisistijd worden overbelast, maar de ervaring leert dat een conflict maanden kan voortslepen en dat dan ook extra mensen nodig zijn voor andere taken, zoals munitie-assemblage. Ergo de stelling: de oefeninspanning mag nooit erg ver onder de geplande inspanning liggen, zeker met de deelname aan vredesoperaties voor ogen.

33 Bij de tabel verwijzen de letters naar noten die het rationaal achter de indeling geven.

Deze zijn vanwege de ruimte in deze publicatie weggelaten maar zijn voor belangstellenden via de *Militaire Spectator* te verkrijgen.

34 Denk bijvoorbeeld aan *bambi bucket* operaties voor het blussen van bosbranden, *roping* (het uitstijgen uit een hoverende helikopter via een touw), ondersteuning Bijzondere Bijstandseenheden, medische evacuatie, et cetera.

35 Per operationele vlieger zijn een aantal trainingsuren beschikbaar, zijn jaarlijks oefenprogramma (JOP).