

Koninklijke Luchtmacht



Ministerie van Defensie

Bevelhebber der
Luchtstrijdkrachten

Afdeling Operationele Research
en Evaluatie

De beperkingen van het see and avoid systeem

Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden

Bezoekadres:

Hoofdkwartier Koninklijke
Luchtmacht

Binckhorstlaan 135

Postadres:

Postbus 20703

2500 ES Den Haag

www.luchtmacht.nl

Steller:

Lt.Kol H.J. Koolstra

Elt H Gemmink

Telefoon (070) 339 71 82

Fax (070) 339 62 18

MDTN (521) 71 82

E-mail:

Flighttest@bdl.af.dnet.mindef.nl

MDTN (521) 71 82

E-mail:

Flighttest@bdl.af.dnet.mindef.nl

Vrijgegeven voor publicatie

Hoofd Afdeling Operationele Research KLu
Lt. Kolonel. H.J.Koolstra

Projectnummer	NVT
Opdrachtgever	AORE
Auteur(s)	Lt-Kol H.J. Koolstra, Elt H. Gemmink
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

Titel Beperkingen van het 'See and avoid'
systeem
Subtitel Zoektocht naar een optimale scanstrategie
en combinaties van veilige snelheden en
zichtwaarden
Projectnummer <n.v.t.>
Status Definitief
Versienummer 6
Datum 23 september 2004

Ministerie van Defensie

Inhoud

1.	Inleiding	3
2.	Begrippen	4
3.	Naar een optimaal scanpatroon	4
3.1	Beschikbare tijd	4
3.2	Effecten van enkelvoudige scanpatronen	6
3.3	Effect van samengestelde scanpatronen	7
3.4	Conclusie scan	10
4.	Het effect van zicht op zichtbaarheid	11
4.1	Conclusie zichteffecten.	15
5.	Discussie resultaten	15
5.1	Algemeen	15
5.2	Praktische betekenis van lage verwachtingswaarde	16
5.3	Naar een praktisch veiligheidsmodel	17
5.4	Opties ter verbetering	17
6.	Conclusies en aanbevelingen	18
Bijlagen A- Het principe van het model		19
1.	Algemeen	19
2.	Vertaalslag van TNO model naar de werkelijkheid	19
3.	Scenario	21
3.1	Geometrie van het botsingsscenario	22
4.	Het optimale scanpatroon	23
4.1	Inleiding en definities	23
4.2	Detectiekans/ verwachtingswaarde	24
4.3	Zoektocht naar het optimale scanpatroon	25
Bijlage B Het TNO waarnemingsmodel		26
Bijlage C Validatie van het TNO waarnemingsmodel		28
Bijlage D Schatting aantal conflictsituaties		30

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

Referenties

1. Lucassen, M.P. & Bijl, P. (2003) *Invloed van kleurstelling op de waarneembaarheid van de PC-7* (Rapport TM-03-A024). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
2. www.aviationmedicine.com/visionoptimum
3. www.cyberair.com/tower/faa/app/p8740-51/0687-51.html
4. BASI Research report (1991). *Limitations of the see-and-avoid principle*.

1. Inleiding

Het 'See and Avoid' principe is niet volmaakt. Rapporten zoals het BASRA rapport (ref. 4) hebben de feilbaarheid van dit systeem al breed uitgemeten en ook de eigen ervaring van de KLu laat zien dat 'Mid Air Collisions' voorkomen. Hoewel er al enige maatregelen zijn genomen om snel en langzaam verkeer te scheiden is er nooit een studie of rapport geweest dat laat zien wat wel en niet mogelijk is met het 'See and Avoid' principe. Dit kon ook niet omdat de middelen daarvoor ontbraken.

In 2003 heeft TNO een rapport uitgebracht, getiteld "invloed van kleurstelling op de waarneembaarheid van de PC-7 (ref 1)." In dit rapport werd gesteld dat TNO een model heeft ontwikkeld waarmee de opvallendheid van de PC-7 kon worden berekend. Dit model is door de auteurs gebruikt en toegepast op operationele scenario's. Door het koppelen van opvallendheid met botsingsscenario's en scanstrategieën kan een voorspelling worden gedaan over de kans dat een vliegtuig wordt gezien.

Omdat het model uitsluitend onder laboratorium omstandigheden is ontwikkeld zijn er ook nog extra waarnemingen gedaan in het vrije veld ter validatie van het model, hierbij werden goede overeenkomsten bereikt met het model wat vertrouwen gaf in de verkregen resultaten.

In dit rapport worden eerst enkele noodzakelijke begrippen kort toegelicht. Vervolgens wordt, voornamelijk aan de hand van grafieken, getoond wat er met de verschillende scan strategieën kan worden bereikt. Met dat verkregen inzicht wordt verder gekeken naar de invloed van snelheid en zichtomstandigheden. Besloten wordt met conclusies en aanbevelingen. Alle onderliggende theorie en zeker niet eenvoudige berekeningen zijn naar de bijlagen verwezen om de leesbaarheid en toegankelijkheid van het rapport voor een groot publiek te waarborgen.

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

2. Begrippen

De zichtbaarheid van een vliegtuig wordt voornamelijk bepaald door zijn grootte, het contrast met de achtergrond en de afstand. Belangrijk is hierbij dat door de afstand een vliegtuig niet alleen relatief kleiner wordt maar dat ook het contrast afneemt. Bij lage zichtwaarde neemt het contrast het snelst af. Bij de berekeningen in dit rapport is uitgegaan van een achtergrond die een goed contrast voor de PC-7 geeft, dus vanuit het oogpunt van zichtbaarheid een nagenoeg perfecte achtergrond.

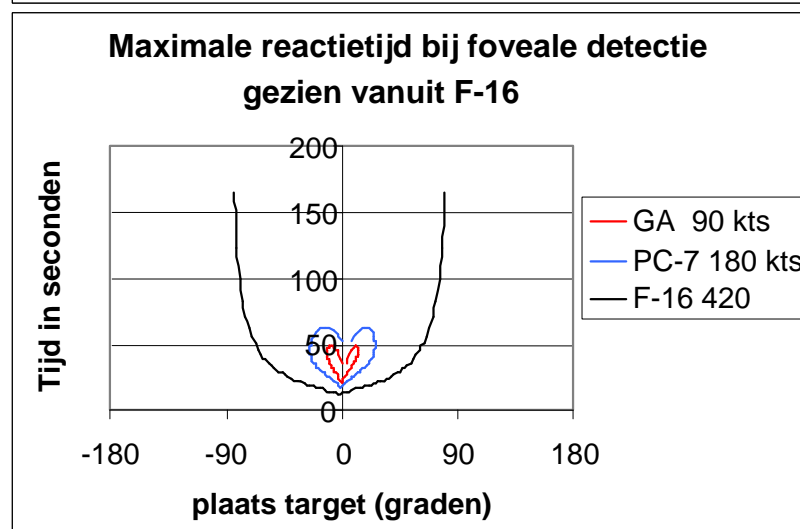
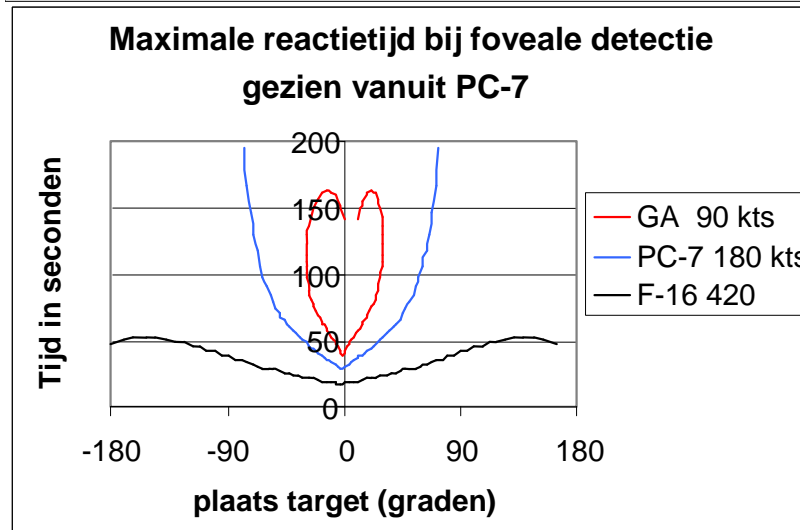
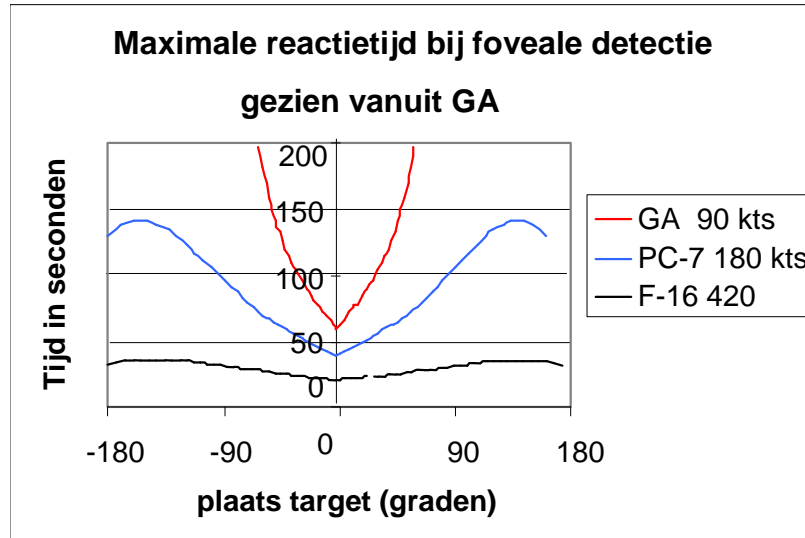
Het zicht zoals gemeten bij oogtesten langs de oogas, is het foveale zicht. Wanneer een vliegtuig zich daarop bevindt is de waarneembaarheid het hoogst, echter buiten het foveale zicht neemt de detectiemogelijkheid scherp af. De hoek waarbinnen een object kan worden waargenomen noemt men de opvallendheid. Omdat nooit de hele werkelijkheid om ons heen met het foveale zicht kan worden gezien is het belangrijk de opvallendheid te bepalen. Bij de berekeningen voor dit rapport werd de opvallendheid van de diverse 'doelen' gedurende een botsingscenario bepaald.

Wanneer een vlieger een bepaald scanpatroon aanhoudt is er dus een kans dat hij in dat scanpatroon een ander vliegtuig ontdekt. Hij kan het vliegtuig ook zelfs in meerdere scans zien. We spreken dan van een verwachtingswaarde. De verwachtingswaarde is dus een getal dat in de grafieken steeds wordt gebruikt. In het model wordt tevens uitgegaan van een minimale reactietijd van 2 seconden. Wordt het doel pas waargenomen minder dan twee seconden voor de botsing dan wordt in de grafieken de verwachtingswaarde negatief.

3. Naar een optimaal scanpatroon

3.1 Beschikbare tijd

Een ander vliegtuig kan op alle mogelijke koersen botsen. De koers van het 'doel' bepaalt zijn relatieve grootte. En tevens bepaalt de combinatie van 'doel' koers en snelheid en eigen snelheid de naderingssnelheid. Om een idee te krijgen wat een goede scanstrategie is wordt eerst gekeken naar de beschikbare tijd, gesteld dat het 'doel' met het foveale zicht wordt ontdekt. We gaan uit van drie typen 'eigen vliegtuig' namelijk een F-16 (420 knopen), een PC-7 (180 knopen) en een 'general aviation' (GA) vliegtuig (90 knopen). Deze vliegtuigen fungeren tevens als doel waarbij het zichtbaarheidsmodel van de PC-7 voor alle vliegtuigen is gebruikt.



Uit de grafieken blijken twee zaken. Voor alle vliegtuigen geldt dat de reactietijd voor de 'doelen' recht vooruit zeer sterk vermindert t.o.v. doelen van opzij en tevens wordt hierin het bekende verschijnsel duidelijk dat voor een snel vliegtuig als de F-16 alle 'doelen' tussen de plus en min 90 graden zitten maar dat een langzamer vliegtuig het hele gebied rondom moet afzoeken.

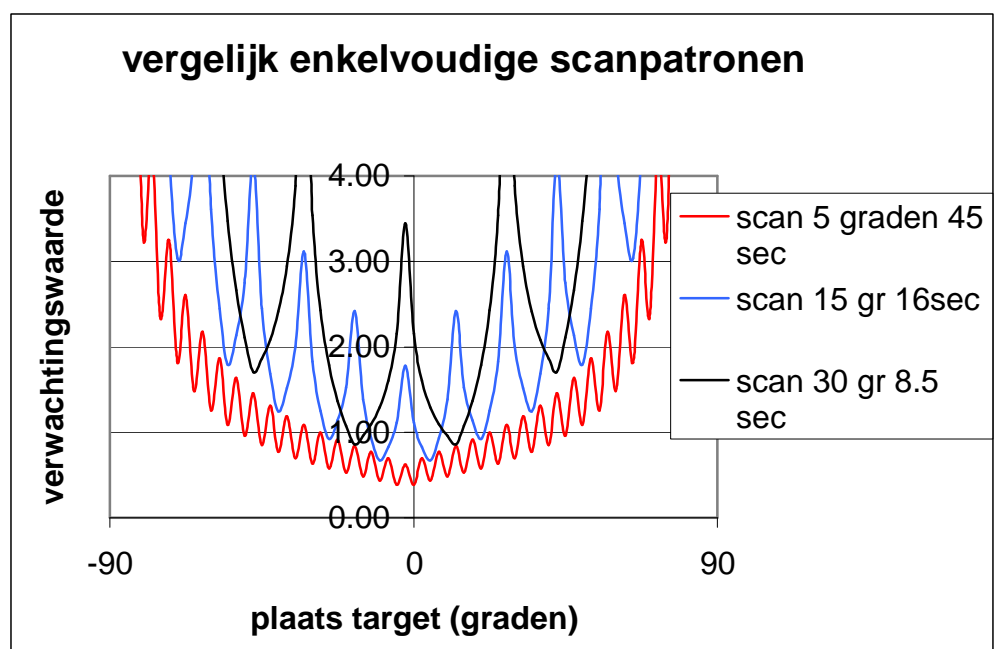
Het is tevens van belang de hartvorm van de grafiek van langzame doelen te begrijpen. De 'Head-On' doelen doen de onderkant van het hart ontstaan en de 'tail-on' doelen (die dus worden ingehaald) vormen de bovenkant van het hart.

3.2 Effecten van enkelvoudige scanpatronen

Het is een bekend verschijnsel dat het oog enige tijd op een bepaalde plaats moet fixeren om goed te zien. Omdat we zo veel mogelijk willen zien zullen we zo kort mogelijk op een bepaalde plek kijken en dan snel onze blik moeten verleggen. Uit de literatuur blijkt dat deze minimale tijd tussen de 0,5 en 1,5 seconden ligt.

Voor de berekeningen gaan we uit van de PC-7 als 'doel' en als eigen vliegtuig. We gebruiken een scantijd per sector van 1 seconde en gaan tevens er van uit dat 20% van de tijd binnen de cockpit wordt gekeken. Omdat bekend is dat de detectieafstand van het oog snel afneemt buiten het foveale zicht proberen we eerst in zoveel mogelijk richtingen te fixeren en vervolgens nemen we de intervallen wat groter.

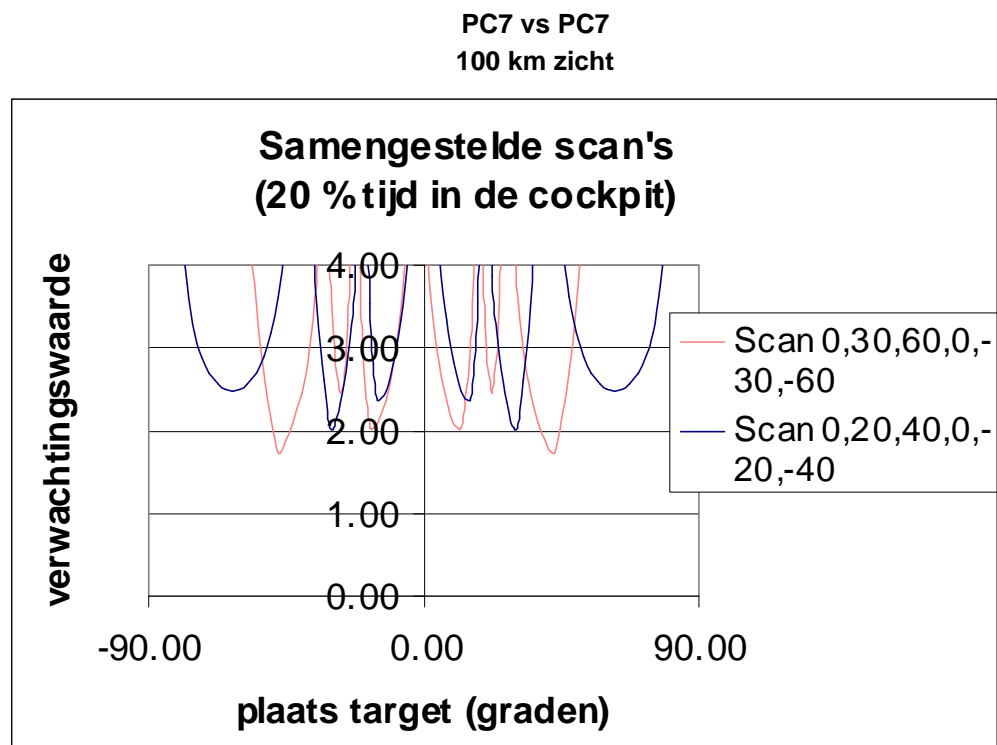
PC7 vs PC7
100 km zicht



Voor een juiste interpretatie van de grafiek is het goed te beseffen dat de grafiek idealiter zo recht mogelijk zou moeten zijn en zo hoog mogelijk zou moeten liggen. Als de grafiek boven de verwachtingswaarde van 1 komt betekent dit dat men er zeker van kan zijn dat het 'doel' gedetecteerd zal worden. Wat de grafiek laat zien is dat de 'langzame' scan om de 5 graden niet erg rendabel is, het duurt te lang en over het centrale deel zakt die onder de 1. Door de scan sneller te doen en dus met grotere hoeken verbetert de situatie en de scan om de 30 graden lijkt het best maar in het centrale deel zijn er nog steeds kleine gebieden waar de grafiek onder de 1 komt. Het is dus noodzakelijk te kijken naar gecombineerde scans, dat wil zeggen scans waarbij binnen één scanperiode meerdere keren naar voren wordt gekeken.

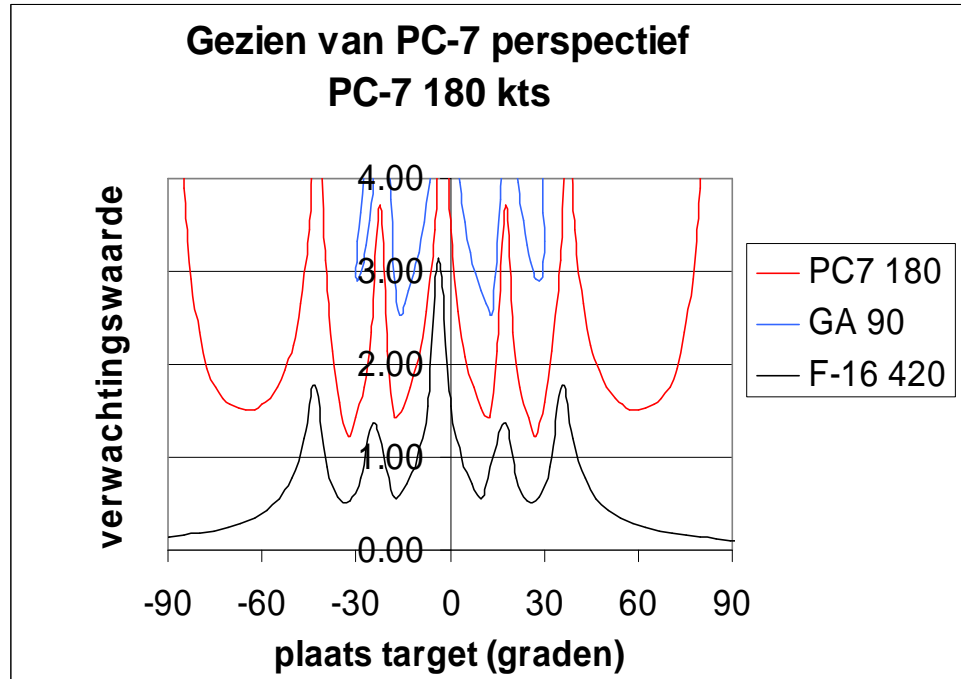
3.3 Effect van samengestelde scanpatronen

Verschillende samengestelde scanstrategieën zijn onderzocht. Het blijkt dat voor de situatie PC-7 vs PC-7 (en ook voor alle andere situaties waarbij doel en eigen vliegtuig even hard vliegen) de scan 0,-20,-40,0,20,40 het beste resultaat oplevert maar ook met de scan 0,-60,-30,0,30,60 wordt een redelijk resultaat bereikt. Bij de samengestelde scans is weer uitgegaan van 1 seconde per sector.



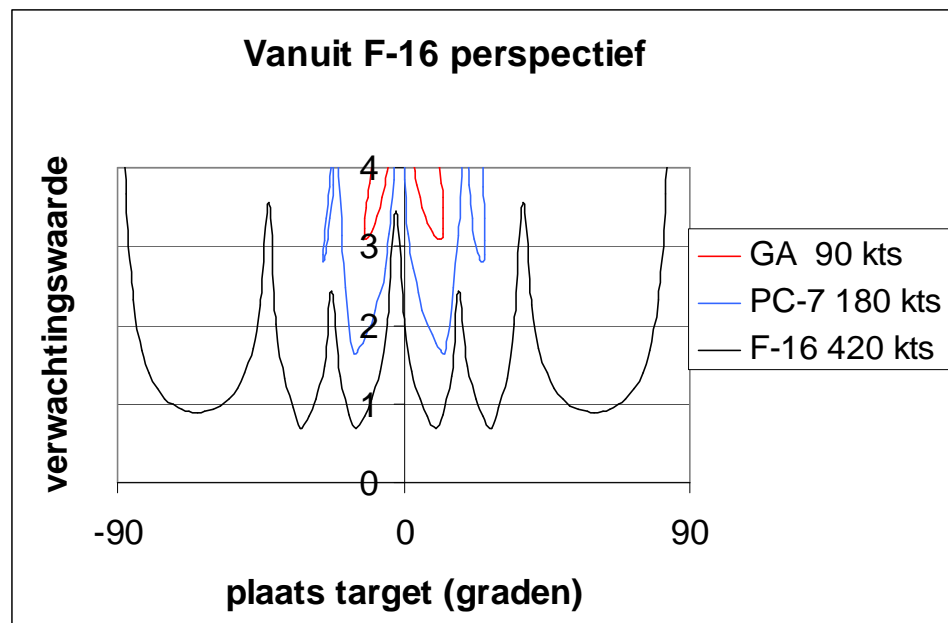
Nu er een eerste aanzet is tot een optimale scan zullen we zien wat dit betekent voor de diverse vliegtuigtypes indien zij met verschillende soorten 'doelen' worden geconfronteerd.

Effect van optimale scan zicht 100 km



Uit de grafiek valt te zien dat deze optimale scan voor de PC-7 wel werkt voor PC-7 's onderling en t.o.v. GA maar niet tegen F-16's. Een verbreding van de scan om ook de F-16 die van achteren te komen te zien lijkt enerzijds gewenst maar aangezien ook de frontale F-16's al te laat worden gezien zal dit in het geheel de zaak niet helpen.

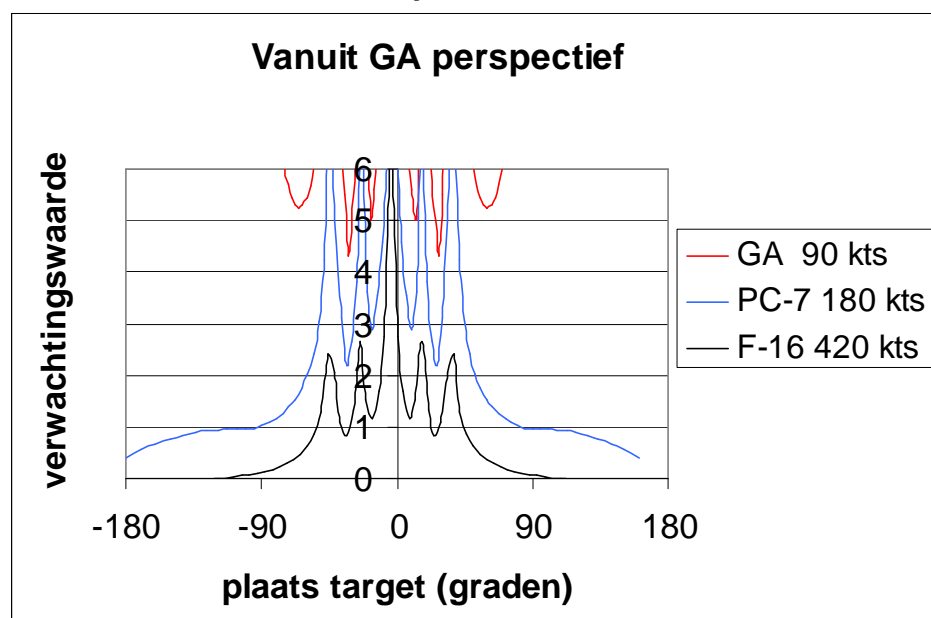
Effect van optimale scan zicht 100 km



Titel Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer <n.v.t.>
Status Definitief
Versienummer 6
Datum 23 september 2004

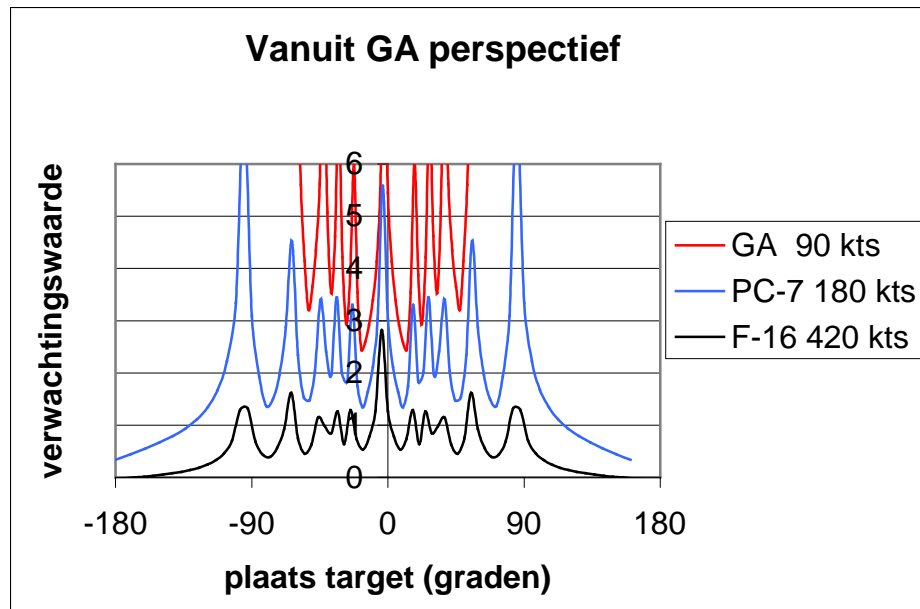
De F-16 vlieger blijkt met deze scan het GA vliegtuig goed te kunnen zien. Sommige PC-7's rond de kijkhoek van 10 graden zijn wat lastiger te detecteren. Dit zijn PC-7's die 'Head-On' komen. Maar nog steeds ruim boven de 1. De F-16 vs F-16 lijn laat zien dat de detectie van F-16's lastig is, met name zijn dit de snelle Head-on doelen. Het blijkt goed ook op de radar te kijken want de verwachtingswaarde komt regelmatig onder de 1.

Effect van optimale scan 1, zicht 100 km



Vanuit de cockpit van een GA vliegtuig is de situatie complex. Met andere GA vliegtuigen zijn er geen problemen maar zowel met de F-16 als met de PC-7 is de situatie lastig. Het probleem ontstaat natuurlijk voornamelijk doordat het GA vliegtuig van alle kanten wordt ingehaald. Nu zou men ervan uit kunnen gaan dat de inhalers maar moeten uitwijken maar tussen de 60 en 90 graden zijn nog een aantal 'doelen' die helemaal geen inhalers zijn maar gewoon kruisend verkeer. Het lijkt dan ook zinvol dat we voor GA vliegtuigen op zoek gaan naar een andere (bredere) scan.

Effect van optimale scan 2, zicht 100 km (scan 0,-90,-60,-30,0,30,60,90)



Het effect van de verbreding is maar ten dele succesvol, de winst aan de zijanten wordt weer te niet gedaan door verliezen recht vooruit. De F-16's die eerst recht vooruit nog een betere verwachtingswaarde hadden dan 1 zakken nu onder de 1.

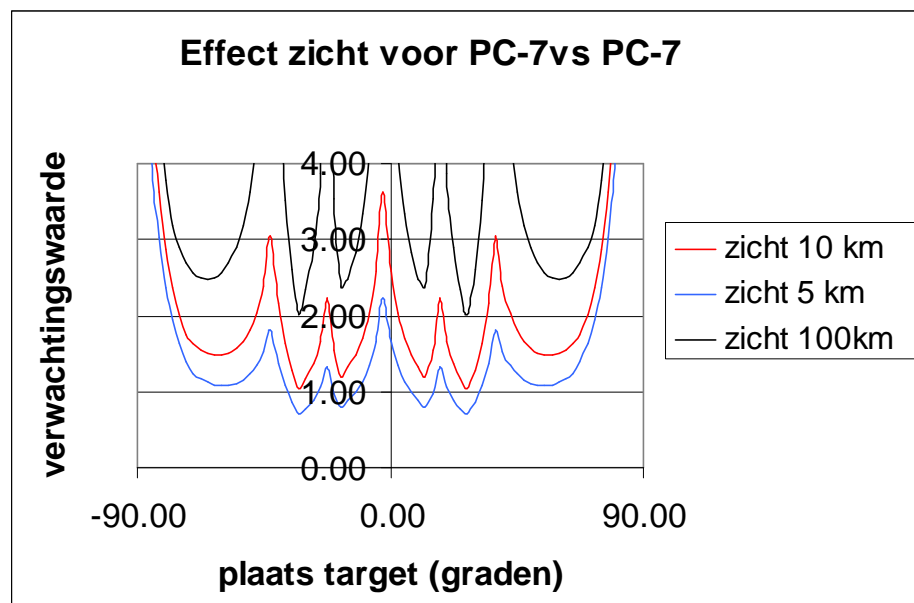
3.4 Conclusie scan

Het blijkt dat er een goede scan te vinden is. De ruim 7 seconden durende scan van 0,-20,-40,0,20,40 (en 20% van de tijd binnen de cockpit) geeft een goed resultaat, behalve voor GA die breder moet kijken. Echter, deze optimale scan levert zelfs bij deze uitstekende zichtomstandigheden nog geen toereikend resultaat. F-16's onderling en het zien van F-16's door GA is moeilijk, zelfs bij uitstekende zicht condities.

4. Het effect van zicht op zichtbaarheid

Tot nu toe hebben we gewerkt met nagenoeg ideale weersomstandigheden van 100 km vliegzicht. Op zich geen ongebruikelijke situatie bij een stevige Noord Westwind na de passage van een koufront. Echter, het zicht is helaas vaak minder. Van belang is dat het hier niet om het grondzicht gaat maar om het zicht tussen de waarnemer en het doel. Het kan dus best zijn dat het meteozicht door een heilige grondlaag lager is.

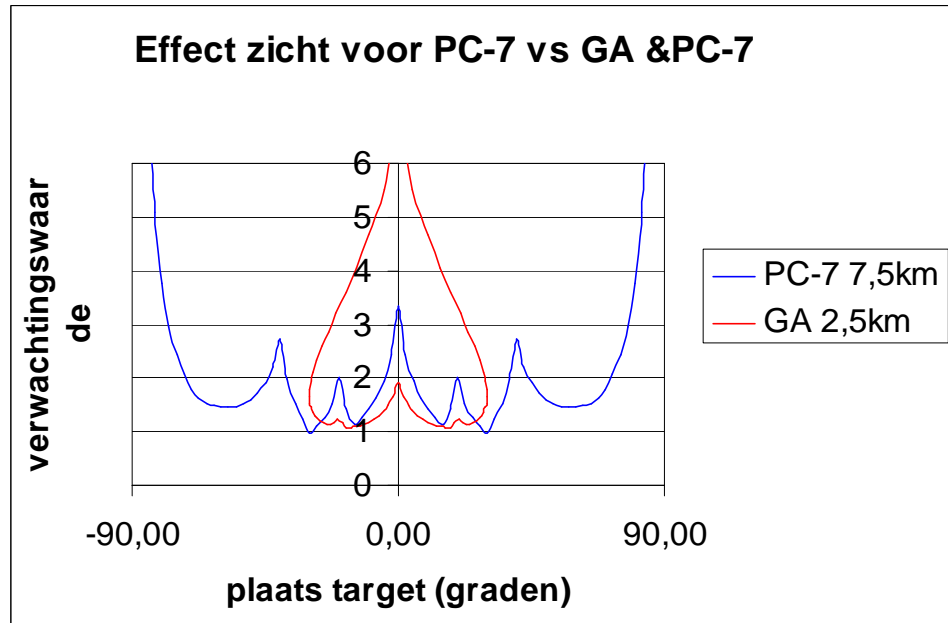
We gaan weer uit van de eerder verkregen optimale scan en bezien het effect op het scenario PC-7 vs PC-7 (beide 180 knopen).



Uit de grafiek valt op te maken dat tussen de 5 en 10 km zicht de gemiddelde verwachtingswaarde de waarde 1 bereikt. Wat ook opvalt is dat de lijn vrij verticaal naar beneden komt met de vermindering van het zicht en de grafiek zelf dus redelijk horizontaal blijft lopen is er weinig eer te behalen aan het veranderen van de scanvolgorde. Het enige wat nog rest is het opvoeren van de scanfrequentie. Tot nu toe was uitgegaan van een 1 seconde per sector. Volgens de theorie zou dit verlaagd kunnen worden naar minimaal 0,5 seconde. Een dergelijk scan geeft een nogal zenuwachtig beeld en onduidelijk is nog hoelang zoiets kan worden volgehouden. De scan van een seconde is op zich ook al redelijk intensief, het lijkt daarom redelijk er van uit te gaan dat bij PC-7 snelheden rond de 8km de grens wordt bereikt.

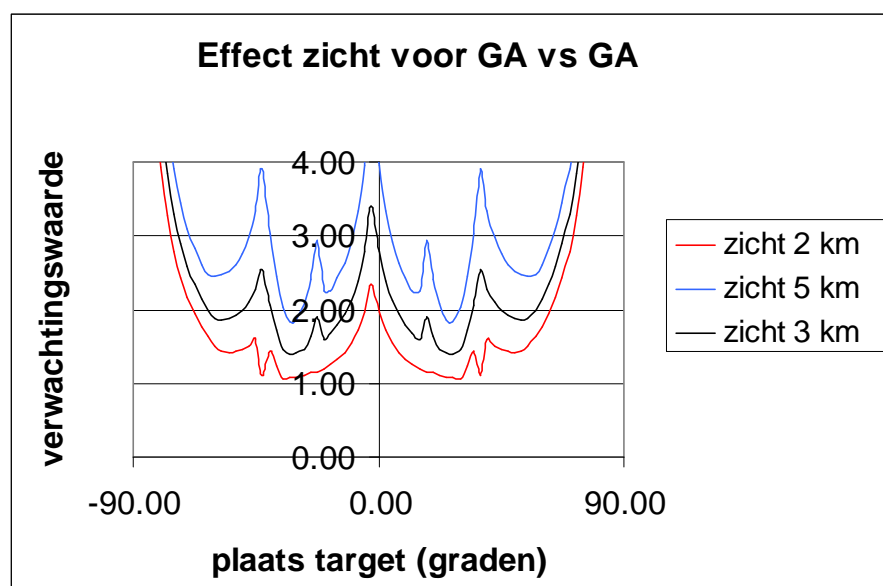
Voor de volledigheid moeten we nu ook kijken wat het zicht doet voor het waarnemen van vliegtuigen met andere snelheid. Uit de eerdere analyse bleek dat de verwachtingswaarde voor het zien van een F-16 bij 100 km zicht al over een groot

gebied onder de 1 lag, er is dus geen ruimte voor zichtvermindering, anders staat het echter t.o.v. GA. Hieronder staat deze situatie uitgewerkt.



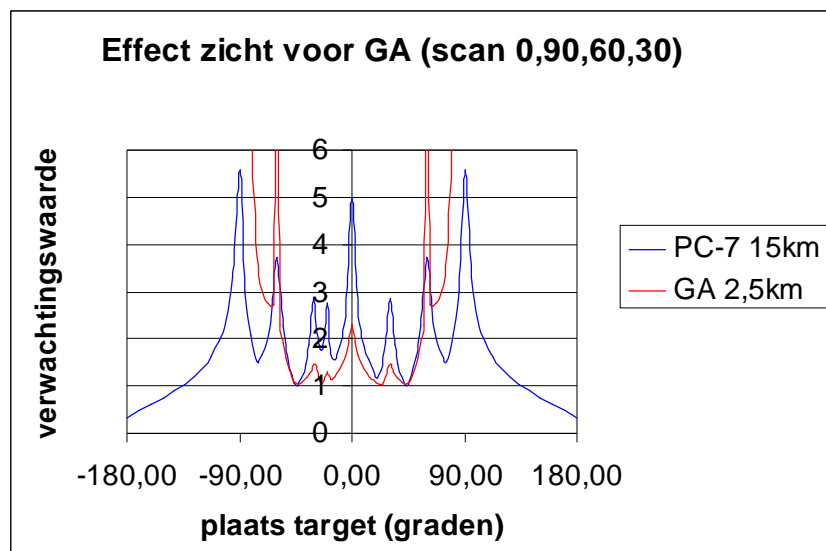
Uit de berekeningen blijkt dat een PC-7 instaat is een GA tot 2,5 km waar te nemen met een verwachtingswaarde van 1 of hoger, ergo de marge t.o.v. langzame vliegtuigen is aanzienlijk hoger.

Bij de GA vliegtuigen is natuurlijk een zelfde effect te zien, alleen door de lagere snelheid wat later. De problemen onderling beginnen hier pas onder de 2 km zicht. Overigens is dit toch al een vrij bijzondere situatie waarbij het foveale zicht en de zichtbaarheid snel naar elkaar toe groeien. Dit vertaalt zich in de steeds vlakker wordende lijn. Met andere woorden het maximale zicht waarop een ander vliegtuig wordt gezien (bij 2 km zicht is dit rond de 1 km) en de afstand waarop het wordt gezien 20 graden uit de kijkrichting (rond de 550 meter) ligt erg dicht bij elkaar.



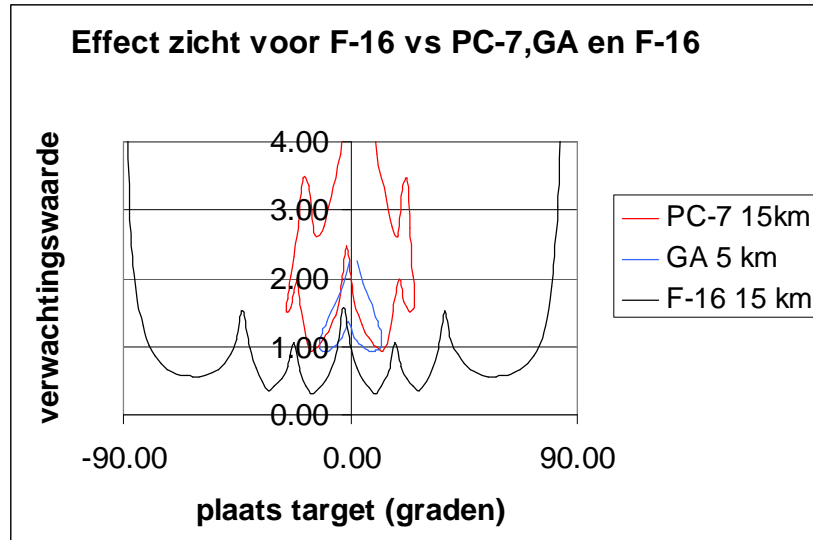
Titel Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer <n.v.t.>
Status Definitief
Versienummer 6
Datum 23 september 2004

Voor de volledigheid is het noodzakelijk ook te kijken hoe het waarnemen van snellere vliegtuigen gaat door GA. Uit het hoofdstuk over optimale scan bleek dat GA zelfs een probleem heeft met het zien van een F-16 bij 100 km zicht, dit wordt bij lagere zichtwaarden alleen maar slechter. We kunnen nog wel bezien in hoeverre een PC-7 in het voorste kwadrant zichtbaar kan blijven. Het lijkt dan goed uit te gaan van de bredere scan (0,30,60,90).



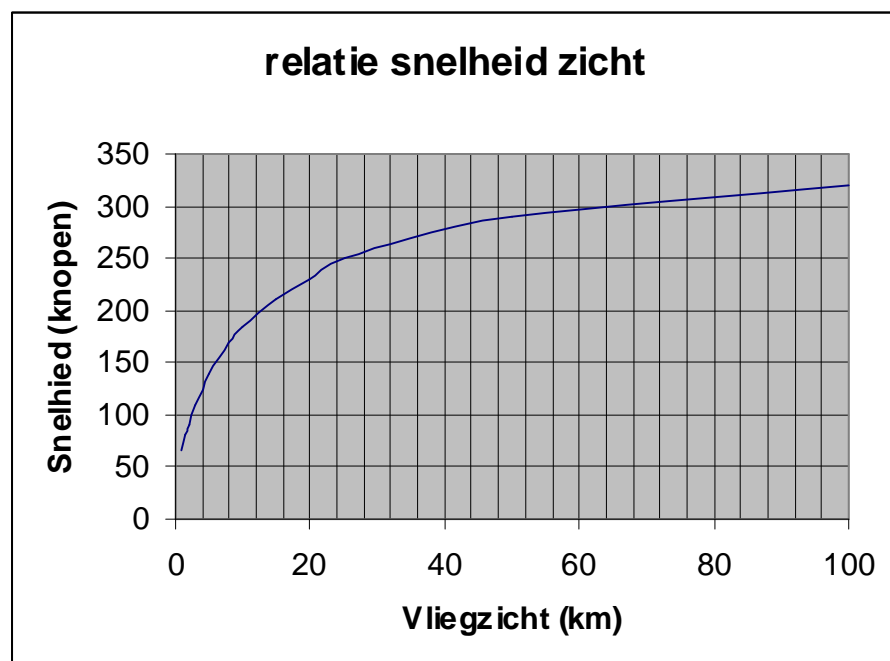
Uit de berekeningen blijkt dat GA een verwachtingswaarde van meer dan één krijgt tegen de PC-7 bij een zicht van 15 km of meer. Ogenscheinlijk dezelfde waarde als PC-7 onderling maar in dit geval wordt alleen een verwachtingswaarde van 1 in het voorste kwadrant gehaald, feitelijk is de situatie dus zelfs slechter als PC-7's onderling. Er is dus weer een aanzienlijk verschil tussen de het zien van GA (2,5 km geeft een verwachtingswaarde van 1) en een PC-7. (15 km geeft een verwachtingswaarde van 1). Dat de verwachtingswaarde t.o.v. GA hier iets afwijkt van de vorige grafiek komt door het gewijzigde scanpatroon wat iets effectiever is tegen sneller verkeer maar minder effectief tegen verkeer met dezelfde snelheid.

Deze effecten kunnen ook voor de F-16 worden uitgerekend, echter het was al bekend dat bij 100 km zicht een F-16 een verwachtingswaarde onder de 1 kreeg. Echter, ervan uitgaande dat de F-16 onderling ook met andere middelen separatie waarmaken kan gekeken worden wanneer F-16's niet meer in staat zouden zijn langzamere vliegtuigen waar te nemen. Dit geeft het volgende beeld.



Uit de berekeningen blijkt dat de F-16 tot 15 km zicht de PC-7 op tijd ziet en tot ca 5 km zicht GA op tijd zou kunnen waarnemen.

Het is ook mogelijk een eenduidig verband te leggen tussen snelheid en zicht mits er van vliegtuigen met dezelfde snelheid wordt uitgegaan. Hieronder is deze grafiek weergegeven. De grafiek moet als volgt worden geïnterpreteerd: Zit je met je snelheid en zichtcombinatie onder de lijn dan is de verwachtingswaarde van het zien van een even snel of langzamer vliegtuig groter dan 1.



Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

4.1 Conclusie zichteffecten.

Zicht op zich zelf is niet belangrijk, het gaat om de combinatie zicht en snelheid. Bij 420 knopen is zelfs onbeperkt zicht niet genoeg een verwachtingswaarde boven de 1 te krijgen. Berekeningen laten zien dat pas bij ca 320 knopen de verwachtingswaarde boven de één komt. Maar dat geldt dan alleen nog indien er geen snelheidsverschillen zijn. Het voorbeeld van GA laat zien dat met name de langzame vliegtuigen een probleem hebben met snellere vliegtuigen.

De PC-7 met de snelheid 180 knopen, kan tot een ca 8 km vliegzicht een verwachtingswaarde groter dan 1 handhaven. Bij een snelheidsvermindering tot 90 knopen (GA) blijkt zelfs bij 2 km nog een verwachtingswaarde van 1 mogelijk.

De mogelijkheid van een F-16 vlieger om langzamer verkeer waar te nemen wordt beperkt onder de 15 km waarbij de tijdige detectie van een PC-7 moeilijk wordt en bij 5 km wordt zelfs het langzame GA moeilijk waarneembaar.

5. Discussie resultaten

5.1 Algemeen

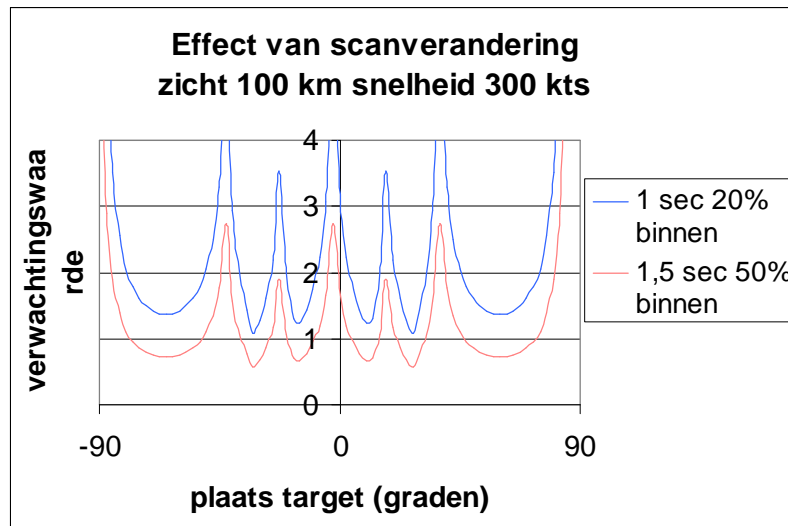
Bij het beoordelen van de resultaten van hiervoor gedane berekeningen dient in acht genomen te worden dat de uitgangspunten van de berekeningen bijzonder gunstig zijn voor het 'See and Avoid' principe, en wel om de volgende redenen:

Het contrast met de achtergrond is optimaal gemaakt;

De scan is optimaal, er wordt in de goede richting gekeken en redelijk snel gescand;

Er wordt uitgegaan van dat maar 20% van de tijd binnen in de cockpit wordt gekeken, sommige studies geven aan dat dit in de praktijk soms wel 50% is.

Omdat van zeer gunstige omstandigheden is uitgegaan kan worden gesteld dat de hier gepresenteerde grenzen van het "See en Avoid" principe harde grenzen zijn. Een vermeerdering van de tijd binnen in de cockpit tot 50% en 1,5 seconde per fixatiepunt leidt al tot een halvering van de verwachtingswaarde. Dit is hieronder afgebeeld voor een situatie waarbij het eigen vliegtuig en doelvliegtuig beiden 300 knopen vliegen.



5.2 Praktische betekenis van lage verwachtingswaarde

Een lagere verwachtingswaarde dan één geeft aan dat er geen zekerheid is dat de ander op tijd zal worden gezien doch slechts een kans. Omdat er altijd tenminste twee personen bij betrokken zijn gaat het eigenlijk om hun gezamenlijke kans. De kans dat geen van beide vliegers het doel ziet zal altijd kleiner zijn dan van ieder afzonderlijk. Wanneer twee vliegers op botsingskoers vliegen en beide een verwachtingswaarde hebben van 0,8 om het andere vliegtuig te zien zal de kans dat geen van beide de ander ziet 4% bedragen.

In hoeverre kansen leiden tot ongevallen hangt voornamelijk af van de verkeersintensiteit. In bijlage D is een eenvoudige berekening gemaakt van het aantal kansen op botsingen in het Nederlandse luchtruim. Belangrijk is dat het effect van de verkeersintensiteit kwadratisch doorwerkt in het aantal mogelijke conflict situaties. Gezien het aantal mogelijke conflictsituaties per jaar (zeker een tiental) en het aantal werkelijke ongevallen per jaar zou men kunnen stellen dat het allemaal wel meevalt. Dit is ook de benadering die gekozen is in een Brits rapport naar de effectiviteit van het 'See and Avoid' systeem voor hun laag vlieggebied.

Het gevaar van de bovengenoemde benadering zit echter in drie onderdelen. Ten eerste is het effect van de verkeersintensiteit kwadratisch en daardoor kan een relatieve kleine toename in de verkeersintensiteit al leiden tot een forse toename in het aantal ongevallen. Ten tweede maakt een groot aantal vliegers al gebruik van 'Traffic Info' van ATC waardoor potentiële conflictsituaties tijdig worden opgemerkt. Tenslotte is het de vraag of je voor de verkeersseparatie mag uitgaan van een systeem waarvan je weet dat het niet toereikend is. Het is de mening van de auteur dat je in principe een systeem als het 'See and Avoid' alleen moet gebruiken binnen de limieten waarin het in principe

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

kan werken. Een andere overweging tenslotte is dat het relatief eenvoudig is om de problemen te voorkomen.

5.3 Naar een praktisch veiligheidsmodel

In de luchtvaart wordt veel uitgegaan van het principe van redundantie, als een systeem faalt dan mag er nog niets fataals gebeuren. Vertaalt naar het See en Avoid principe betekent dit dus dat als alle luchtvaartgebruikers met zodanige snelheid en zichtlimieten vliegen dat iedereen een verwachtingswaarde van 1 of hoger heeft is dit een veilige combinatie. Kan deze combinatie echter niet worden waargemaakt dan zijn aanvullende maatregelen nodig. Wanneer men dus vliegt met een zichtcombinatie die boven de lijn ligt van de grafieksnelheid en zichtcombinaties is er altijd een aanvullende detectie capaciteit gewenst.

5.4 Opties ter verbetering

De volgende maatregelen kunnen het 'See and Avoid' systeem verbeteren:

- Verplicht gebruik maken van Traffic Info of TCAS of AIFF. Eis hierbij is dat iedereen een transponder heeft.
- Scheiden van snel en langzaam verkeer. Deze scheiding kan zowel in tijd, hoogte of plaats zijn.
- Scheiden van IFR en VFR verkeer. Momenteel komt het voor dat een F-16 met ca 250 knopen een radarpatroon vliegt met 3 km zicht terwijl een GA vliegtuig daar VFR zonder werkende transponder ook vliegt. Het mag duidelijk zijn uit hiervoor vermelde grafieken dat de kans voor beide om elkaar tijdig te bemerken gering is.
- Invoeren van éénrichtingsverkeer.
- Het koppelen van vliegzicht aan maximale snelheid. De gegevens lijken de volgende limieten te ondersteunen: Tot 100 knopen 3 km zicht, boven de 100 knopen 8 km zicht en boven de 300 knopen fysiek gescheiden vliegen van overig verkeer.
- Combinaties van boven genoemde maatregelen. Een voorbeeld kan zijn:
 - Transponder uitgerust verkeer dat sneller vliegt dan het zicht toelaat gebruikt AIFF, Traffic info of TCAS.
 - Transponder uitgerust verkeer dat niet sneller vliegt dan het zicht toelaat heeft geen aanvullende verplichting.

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

- Niet transponder uitgerust verkeer houdt zich aan de zichtsnelheidslimiet en opereert alleen in speciale gebieden.

6. Conclusies en aanbevelingen

De volgende conclusies kunnen er worden gemaakt:

- Het is mogelijk gebleken op basis van het TNO rapport een optimale scan te ontwikkelen.
- Het is mogelijk gebleken om vliegzichten te herleiden tot snelheidslimieten.
- Het is aangetoond dat de combinatie van snel en langzaam het moeilijkst is. Dit geldt niet alleen voor jachtvliegtuigen maar voor alle grote snelheidsverschillen waarbij met name het langzame vliegtuig een lage verwachtingswaarde heeft.

De volgende aanbevelingen worden gemaakt:

- Vliegers dienen onderwezen te worden in correcte scantechnieken.
- De huidige zichtlimieten kunnen gehandhaafd blijven maar dan dienen er wel extra maatregelen genomen te worden door de vlieger/bemanning als sneller gevlogen wordt dan het zicht toelaat.
- IFR verkeer mag niet worden gemengd met ongecontroleerd VFR.
- Niet transponder uitgerust verkeer dient gescheiden te opereren en dient zich altijd aan de snelheids/zicht grafiek te houden.

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

Bijlagen A- Het principe van het model

1. Algemeen

Met het TNO waarnemingsmodel (ref.1) kunnen de volgende zaken worden voorspeld:

- De foveale detectieafstand van een PC-7 met een willekeurige oriëntatie en kleurstelling. (Foveale detectie is best mogelijke detectie van het oog).
- De opvallendheid van de PC-7 indien de afstand tussen PC-7 en waarnemer kleiner is dan de foveale detectieafstand.

Het TNO waarnemingsmodel is afgeleid onder laboratoriumcondities, hetgeen leidt tot het discussiepunt dat er ongetwijfeld een vertaalslag naar de praktijk nodig zal zijn om de werkelijke detectieafstanden goed te kunnen voorspellen. In het rapport wordt het waarnemingsmodel slechts gebruikt om PC-7's met verschillende kleurenschema's onderling te vergelijken.

De laatste conclusie uit het TNO rapport luidt:

“De relatie tussen opvallendheid en zoektijd kan niet zonder meer worden toegepast op de situatie van een vlieger die vanuit de cockpit de lucht scant naar andere vliegtuigen. De literatuur geeft momenteel onvoldoende basis om een uitspraak te doen over detectiekansen en om advies te geven over scaninstructies.”

In dit rapport wordt gezocht naar het antwoord op de vraag: wat zijn de beperkingen van het see and avoid systeem? Het waarnemingsmodel van TNO wordt daarbij gebruikt. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, gaan we voor een aantal combinaties van eigen vliegtuig en target op zoek naar een optimaal scanpatroon. Uitgaande van dat optimale scanpatroon bepalen we vervolgens de invloed van het meteorologisch zicht en de onderlinge naderingssnelheid op de detectiekans.

2. Vertaalslag van TNO model naar de werkelijkheid

In het algemeen wordt de relatie tussen opvallendheid en detectieafstand gegeven door vergelijking A.1, die we hier volledigheidshalve herhalen:

$$r = \frac{\{ \text{Log}(C_{target}) + C_1 \} \sqrt{A}}{0.000305 \cdot SF \cdot (1 + M_1 \cdot e)} \quad (2.1)$$

met:

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

r	= Afstand in meters
C_{target}	= Contrast van het target-vliegtuig
C_1	= Constante die afhankelijk is van het luminantieniveau van de achtergrond
A	= Het oppervlak van het aanzicht van het target vliegtuig (op afstand 0).
SF	= Experimentele schaalfactor, met als waarde 2.32
ε	= Opvallendheid van het target vliegtuig, in graden
M_1	= Schaalfactor voor perifere waarneming, met als waarde 1/3 (ref.1)

Onder opvallendheid verstaan we de mate waarin een object t.o.v. zijn omgeving eruit springt. De opvallendheid van een vliegtuig kan men vaststellen door te bepalen hoe ver men naast het vliegtuig kan kijken zodat dit nog net uit de ooghoeken kan worden gezien. De maximaal haalbare detectieafstand vinden we door het invullen van $\varepsilon = 0$ (foveaal). Als het target verder verwijderd is dan deze afstand, is het met het menselijk oog niet waarneembaar. In het bepalen van de detectieafstand speelt de combinatie van kleurschema van het target en luminantie van de achtergrond een grote rol (ref.1). Als voorbeeld van dit feit kunnen we vermelden dat een PC-7 als target, met het huidige geel/wit/rode kleurschema, de grootste detectieafstand heeft tegen een donkere achtergrond. Het is dan ook belangrijk om de luminantie van de achtergrond vast te leggen. We kiezen die luminantie in dit rapport zodanig, dat de combinatie van target en achtergrondluminantie de grootste detectieafstand oplevert, een best case benadering dus. Voor de PC-7 in het huidige geel/wit/rode kleurschema geldt dan een achtergrondluminantie van 10% van de hemelluminantie. Althans, onder TNO laboratoriumcondities

Vergelijking 2.1 is bepaald onder laboratoriumcondities bij TNO. In het laboratorium werd beeldmateriaal van de PC-7 gepresenteerd op een beeldscherm met gesimuleerde 'hemelluminantie' van 66 cd/m^2 .

Om uiteindelijk C_{target} te berekenen, hebben we de volgende gegevens nodig (zie ref.1):

- Gemiddelde luminantie van de PC-7 op afstand 0 = $L_{\text{PC7}}(0)$
- Standaarddeviatie van $L_{\text{PC7}}(0) = \sigma_{\text{PC7}}(0)$
- Gemiddelde luminantie van de achtergrond op afstand 0 = $L_{\text{achtergrond}}(0)$
- Afstand r

Met behulp van de afstand r kunnen we waarden berekenen voor $L_{\text{PC7}}(r)$, $\sigma_{\text{PC7}}(r)$ en $L_{\text{achtergrond}}(r)$, die we nodig hebben om C_{target} te bepalen.

In ref.1 zijn voor verschillende aanzichten van de PC-7 waarden vermeld voor $L_{\text{PC7}}(0)$, $\sigma_{\text{PC7}}(0)$ en $L_{\text{achtergrond}}(0)$, gebaseerd op de achtergrondluminantie van 66 cd/m^2 .

In theorie zou de vertaalslag van deze waarden naar de praktijk niets anders moeten zijn dan een schaalfactor. Immers verandering van de luminantie van de laboratoriumlamp naar de praktijk (luminantie van de zon) zou een evenredige verandering van $L_{\text{PC7}}(0)$, $\sigma_{\text{PC7}}(0)$ en $L_{\text{achtergrond}}(0)$ moeten opleveren. Om deze veronderstelling te toetsen, zijn met

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

een geijkte digitale camera en een luminantiemeter metingen verricht op Vliegbasis Woensdrecht. Deze validatie staat beschreven in bijlage D.

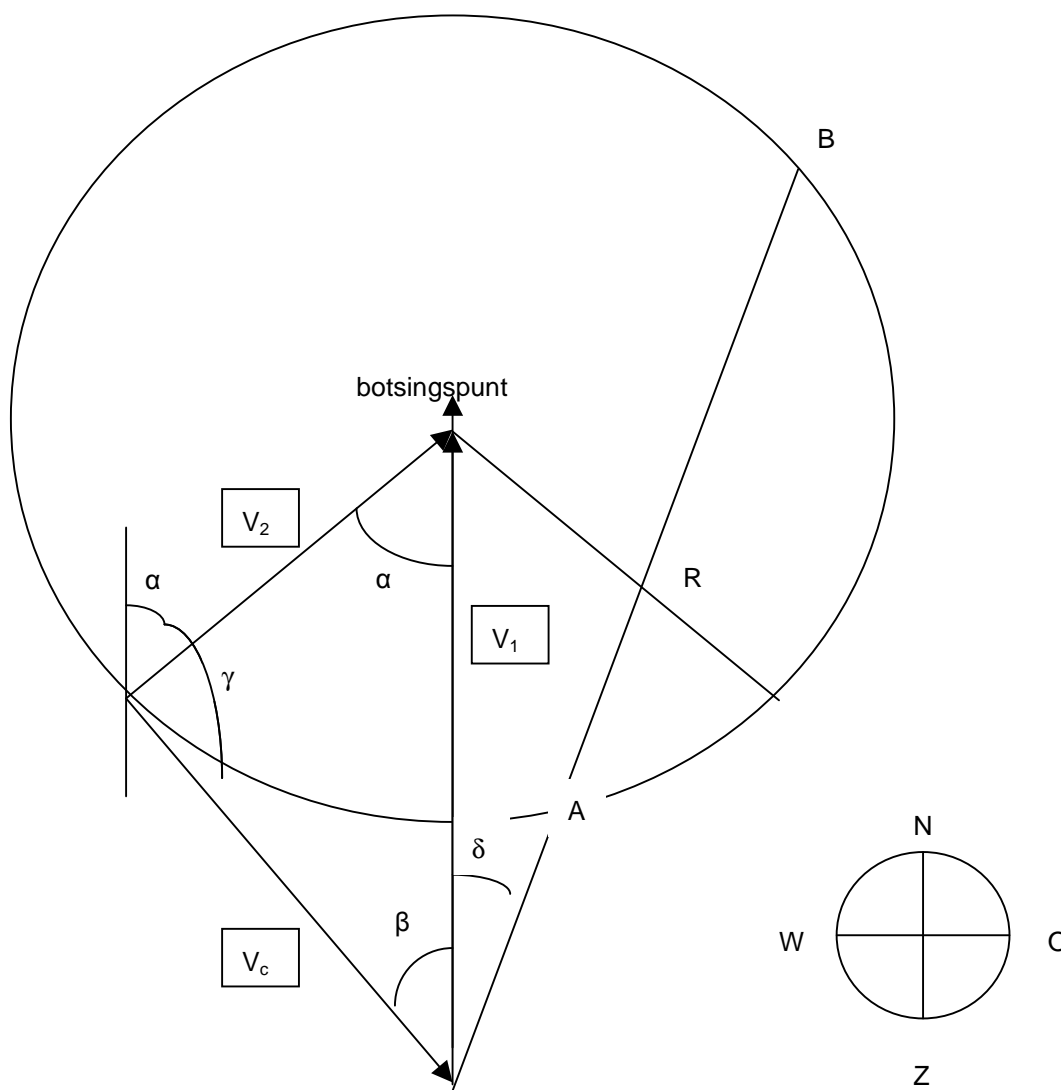
3. Scenario

Uitgangspunt voor de berekeningen in dit rapport is een 1-dimensionaal botsingsscenario. In dat scenario vliegen 2 vliegtuigen, het "eigen vliegtuig" en het "target vliegtuig", vanaf nu aangeduid als "target", 'straight and level' op een botsingspunt af. "Eigen vliegtuig" en "target" worden gekenmerkt door een kruissnelheid en koers. We beperken ons tot de 3 typen F-16, PC-7 en GA (General Aviation), die we respectievelijk een kruissnelheid van 450, 180 en 90 kts geven. Om detectieafstanden tot een target te kunnen berekenen, hebben we daarvan de gegevens nodig, die vermeld zijn in hoofdstuk 2. Op dit moment beschikken we alleen over die gegevens van de PC-7 in de huidige geel/wit/rode kleurstelling. We kunnen dus alleen dat vliegtuig als target aanwijzen.

Als we het "eigen vliegtuig" een koers van 000, zijnde Noord, geven, kunnen we door de koers van het target te variëren, verschillende botsingssituaties beschouwen.

Het menselijk oog is gevoelig voor kleine bewegingen, detectie gaat dus beter als het target in het gezichtsveld van de vlieger van plaats verandert. Het vervelende in een botsingsscenario is, dat het target niet beweegt t.o.v. het eigen vliegtuig. Vanuit de vlieger gezien, bevindt het target zich op een vaste plaats in zijn gezichtsveld.

3.1 Geometrie van het botsingsscenario



Figuur 3.1: geometrie van een botsingsscenario

- V_1 = Kruissnelheidsvector van het "eigen vliegtuig"
- V_2 = Kruissnelheidsvector van het "target vliegtuig"
- V_c = Onderlinge naderingssnelheidsvector ("closing speed")
- N,O,Z,W = Noord, Oost, Zuid, West
- α = Heading van het target
- β = Hoek tussen V_c en V_1
- γ = Aanzichtshoek = $180^\circ - \alpha - \beta$
- δ = Willekeurige kijkhoek vanuit het eigen vliegtuig
- A,B = snijpunten met de cirkel

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

De aanzichtshoek γ bepaalt welke dwarsdoorsnede van het target we te zien krijgen en daarmee het oppervlak van die dwarsdoorsnede, volgens de vergelijking:

$$A = |\text{oppervlakte zijaanzicht} \cdot \sin g| + |\text{oppervlakte frontaal aanzicht} \cdot \cos g|$$

De keuze van het eigen vliegtuig en het target, beiden gekenmerkt door een kruissnelheid en een heading, is bepalend voor de onderlinge naderingssnelheid V_c :

$$V_c = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2 \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot \cos a}$$

4. Het optimale scanpatroon

Bij berekening van een detectiekans, is het uitgangspunt altijd onszelf, in ons eigen vliegtuig. Vergroting van detectiekansen door uit te gaan van twee of meer waarnemers, in het eigen vliegtuig en in het target, worden niet beschouwd.

In paragraaf 4.1 wordt een algemene inleiding gegeven, alsmede enkele definities. Paragraaf 4.2 geeft uitleg over de gehanteerde definitie voor detectiekans.

4.1 Inleiding en definities

Als de opvallendheid van een object klein is t.o.v. de grootte van het zoekveld, dan is foveale detectie haast vereist voor het opsporen van het object (ref.1). Een scanstrategie zou dus bepaald moeten worden door de opvallendheid van het target in relatie tot de grootte van het zoekveld.

Voor het 1-dimensionale botsingsscenario bevindt het zoekveld zich op de horizon. Recht vooruit wordt gedefinieerd als 0° , klokpositie 9 uur als -90° , klokpositie 3 uur als 90° en klokpositie 6 uur als 180° of -180° .

In ref.2 en 3 wordt vermeld dat detectie van een target alleen bewerkstelligd kan worden door een opeenvolging van oogfixaties op verschillende punten in de ruimte. Als scanstrategie wordt aanbevolen een segment in de lucht voor 1 tot 3 seconden te bekijken, om daarna het fixatiepunt te verleggen naar een volgend segment (10° tot 15° ernaast).

Een scanpatroon is dus gedefinieerd als een opeenvolging van fixatiepunten. In het 1-dimensionale scenario liggen de fixatiepunten dan op de horizon. De volgorde waarin deze punten afgewerkt worden kan willekeurig zijn. Als voorbeeld kunnen we het volgende scanpatroon definiëren:

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

1. Vlieger kijkt recht vooruit = 0°
2. Vlieger kijkt naar links = -30° (bijvoorbeeld)
3. Vlieger kijkt recht vooruit = 0°
4. Vlieger kijkt naar rechts = 30° (bijvoorbeeld)
5. Vlieger kijkt recht vooruit = 0°
6. Vlieger kijkt op instrumenten

Een optimaal scanpatroon is een scanpatroon waarin de kansen om een target, dat op een willekeurige plaats opduikt, te detecteren, maximaal zijn. Om hier een kwantitatieve uitspraak over te doen, berekenen we voor verschillende combinaties van eigen vliegtuig en target een kansverdeling. Zo'n kansverdeling wordt gevonden door, uitgaande van een bepaald scanpatroon, voor elke hoek waar een target zich bevindt, de bijbehorende kans op detectie te berekenen met vergelijking uit par. 4.2. In het gehanteerde botsingsscenario kunnen we de plaats waar het target zich bevindt, variëren door de koers van het target te veranderen.

4.2 Detectiekans/ verwachtingswaarde

Een doel kan meerdere keren gezien worden voordat de minimale afstand bereikt is. Het is dus beter te spreken van een verwachtingswaarde dan van een kans. Deze verwachtingswaarde wordt in principe gevonden door de afstand waarop het doel wordt waargenomen te delen door de nadering van het doel in een scanperiode. Deze methode werd echter nog iets verder verfijnd om een nauwkeuriger waarde te krijgen bij verwachtingswaarde kleiner dan 1.

De detectiekans die bij een bepaald fixatiepunt hoort, is gedefinieerd als:

$$Detectiekans = \frac{(detectieafstand) - (benodigde reactietijd \cdot V_c)}{((Dode.tijdper\ sector + 0,5) \cdot V_c)} \cdot 100\%$$

met V_c = onderlinge naderingssnelheid (closing speed) en met in de noemer de 'dode tijd per sector' als de tijd dat in die sector **niet wordt gekeken** plus 0,5 seconde reactietijd voor het oog om te focussen.

Als men in elke sector even lang kijkt en per sector 1 seconde dan wordt de noemer de totale scantijd -0,5 seconde maal de naderingssnelheid.

Behalve van de factoren die in bovenstaande vergelijking voorkomen, is de detectiekans uiteraard ook nog afhankelijk van:

- Eventuele traffic alert door ATC
- Eventuele "obstruction of vision" in het eigen vliegtuig

Titel Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
 Subtitel Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
 Projectnummer <n.v.t.>
 Status Definitief
 Versienummer 6
 Datum 23 september 2004

Met de definitie van de vergelijking gaan we er dus van uit dat er geen traffic alert plaatsvindt en dat het uitzicht op de horizon vanuit het eigen vliegtuig niet gehinderd wordt door raamstijlen e.d..

De detectieafstand is de afstand waarop het target visueel waarneembaar is. Deze afstand kan berekend worden m.b.v. de vergelijking 2.1 voor de opvallendheid ϵ het verschil (in graden) te nemen tussen het fixatiepunt, zoals gedefinieerd in het scanpatroon, en het punt waar het target zich bevindt. We geven het target dan als het ware een virtuele opvallendheid, met behulp waarvan we een detectieafstand kunnen berekenen. Voor elk fixatiepunt vinden we dan een bijbehorende detectieafstand. De "benodigde reactietijd" is gedefinieerd als de tijd die nodig is om een succesvolle uitwijkmanoeuvre uit te kunnen voeren. Komt het target dus binnen het gebied dat begrensd wordt door reactietijd $\cdot V_c$, dan is een succesvolle uitwijkmanoeuvre niet meer mogelijk. In de literatuur wordt voor deze benodigde reactietijd meestal minimaal 2 seconden aangehouden (ref. 1, 4). Deze waarde wordt gebruikt in dit rapport.

De 'dodetijd per sector' is de tijd die gespendeerd wordt op alle andere fixatiepunten. In een scanpatroon kan de volgorde waarin de fixatiepunten afgewerkt worden, willekeurig zijn, en sommige punten kunnen vaker aan bod komen dan andere, elk fixatiepunt krijgt dan ook een andere 'dodetijd'.

4.3 Zoektocht naar het optimale scanpatroon

Als vlieger in het eigen vliegtuig, kun je niet weten welk target op je af zal komen. Om te bepalen welk scanpatroon voor een vlieger optimaal is, is het dan ook niet voldoende om slechts één combinatie van eigen vliegtuig en target te beschouwen. Een samenvoeging van de kansverdelingen die bij verschillende combinaties van eigen vliegtuig en target horen, is gewenst. Voor een eerste indicatie van de gewenste positie van de fixatiepunten in het scanpatroon, beschouwen we de "areas of interest" die we in hoofdstuk 3 berekend hebben. Deze zijn samengevat in tabel 4.1.

Eigen vliegtuig	Target	Area of interest
F-16	F-16	-90° tot 90°
F-16	PC-7	-23° tot 23°
F-16	GA	-12° tot 12°
F-16	Glider	-8° tot 8°
PC-7	PC-7	-90° tot 90°
PC-7	GA	-27° tot 27°
PC-7	Glider	-18° tot 18°
GA	GA	-90° tot 90°
GA	Glider	-34° tot 34°

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

Bijlage B Het TNO waarnemingsmodel

We onderscheiden foveale en perifere waarneming. Bij foveale waarneming wordt rechtstreeks naar het target vliegtuig gekeken, bij perifere waarneming wordt ernaast gekeken. In ref. 1 wordt een volledige afleiding van het TNO waarnemingsmodel gegeven. In deze bijlage vermelden we slechts de uitkomsten.

Het TNO model waarmee de detectieafstand berekend kan worden, wordt gegeven door de volgende vergelijking:

$$r = \frac{\{ \text{Log}(C_{\text{target}}) + C_1 \} \sqrt{A}}{0.000305 \cdot SF \cdot (1 + M_1 \cdot e)} \quad (\text{A.1})$$

met:

- r = Afstand in meters
- C_{target} = Contrast van het target-vliegtuig
- C_1 = Constante die afhankelijk is van het luminantieniveau van de achtergrond
- A = Het oppervlak van het aanzicht van het target vliegtuig op afstand nul.
- SF = Experimentele schaalfactor, met als waarde 2.32
- ϵ = Opvallendheid van het target vliegtuig, in graden
- M_1 = Schaalfactor voor perifere waarneming, met als waarde 1/3 (ref.1)

Als we m.b.v. deze vergelijking de foveale detectieafstand willen bepalen, vullen we $\epsilon = 0$ in. Deze foveale detectieafstand is de maximaal haalbare detectieafstand, m.a.w. als het target vliegtuig verder van je verwijderd is dan deze afstand, is het niet visueel waarneembaar.

De visuele waarneembaarheid van een target vliegtuig wordt in belangrijke mate beperkt door de afstand tussen waarnemer en target en door de atmosfeer ertussen. Het effect van atmosferische verzwakking (een functie van afstand en meteorologisch zicht) komt in vergelijking 1 tot uitdrukking in een verlaging van het target-contrast.

Het target-contrast is afhankelijk van intern en extern contrast, met als kanttekening dat extern contrast een grotere rol speelt dan intern contrast. Intern contrast wordt bepaald door het kleurenschema op het vliegtuig, extern contrast door de omgeving waartegen het target wordt gezien.

Het oppervlak van het aanzicht van het target is afhankelijk van de hoek waaronder het target wordt waargenomen.

Titel Beperkingen van het 'See and avoid'
systeem
Subtitel Zoektocht naar een optimale scanstrategie
en combinaties van veilige snelheden en
zichtwaarden
Projectnummer <n.v.t.>
Status Definitief
Versienummer 6
Datum 23 september 2004

Ministerie van Defensie

De opvallendheid van het target is gedefinieerd als de hoek waarmee men nog net naast het target kan kijken, zonder het uit het oog te verliezen.

Om m.b.v. vergelijking A.1 detectieafstanden tot een bepaald target te kunnen berekenen, moeten we telkens een vaste situatie beschouwen. De parameters waarmee zo'n situatie vastgelegd wordt, zijn de volgende:

1. Het target zelf, vastgelegd door:

- Kleurenschema (levert de gemiddelde luminantie alsmede de standaarddeviatie daarvan en daarmee het intern contrast, zie ref.1)
- Oppervlakte zij aanzicht
- Oppervlakte frontaal aanzicht
- Heading
- Kruissnelheid (levert samen met heading de plaats waar het target zich bevindt, ofwel de hoek waaronder je het target ziet)

2. De omgevingscondities, vastgelegd door:

- Meteorologisch zicht
- Luminantie van de achtergrond waartegen het target gezien wordt

Omdat C_{target} eveneens afhankelijk is van de afstand dient de formule iteratief te worden opgelost.

Titel Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
 Subtitel Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
 Projectnummer <n.v.t.>
 Status Definitief
 Versienummer 6
 Datum 23 september 2004

Bijlage C Validatie van het TNO waarnemingsmodel

In deze bijlage worden enkele uitkomsten van vergelijking A.1 getoetst aan de werkelijkheid.

In september 2003 zijn er op de vliegbasis Woensdrecht metingen verricht aan vliegende PC-7 met een camera die geschikt was voor luminantiemeting. Het zicht was die dag onbeperkt en de achtergrond werd gevormd door blauwe lucht en wolken. Van diverse foto's is de luminantie van zowel de PC-7 als van de achtergrond bepaald door TNO-TM. Gezien het kleine aantal pixels kon het interne contrast niet worden gemeten. Uit de foto's werd de afstand berekend en tevens de aangezichtshoek geschat. De gemeten en bepaalde waarde zijn hieronder vermeld.

foto	Aanzichth	km	achtergr	lum achtergr	lum tgt
81	0	2.9100	blauw	9224	6707
90	0	0.7270	licht grijs	7542	4000
100	10	0.7760	blauw	6269	3240
103	20	2.9100	licht grijs	7556	5140
123	70	2.9100	licht grijs	7629	4137

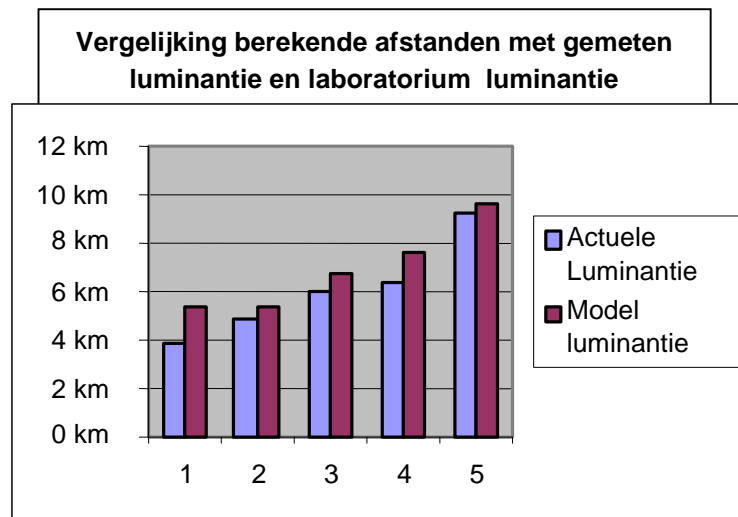
De luminantie van het vliegtuig op bepaalde afstand kon worden herleid tot de luminantie op afstand nul. In tegenstelling tot de laboratorium opstelling hoeft de achtergrond luminantie niet te worden herleid, deze kan op alle afstanden als een constante worden gezien.

Dit gaf de volgende berekende waarden:

foto	root S	L hemel	Beta	L tgt 0
81	1.897366596	9224.000	1	6477.389
90	1.897366596	9224.000	0.81764961	3884.813
100	2.412488143	9224.000	0.679640069	3099.058
103	2.804167847	9224.000	0.819167389	4767.441
123	3.679843183	9224.000	0.827081526	3672.944

Vervolgens is met deze in werkelijkheid gemeten luminantie waarde de foveale detectiewaarde van de PC-7 berekend. Deze berekende waarde is vervolgens vergeleken met de modelwaarde bij dezelfde aangezichtshoek en bij een zicht van 100 km.

Dit gaf het volgende resultaat:



Deze waarden tonen een fraaie correlatie met de modelwaarden. Het feit dat de actuele waarden iets lager liggen dan de modelwaarden zal ten dele verklaart kunnen worden dat bij de actuele waarde het interne contrast niet kon worden bepaald en dus ook niet is meegenomen.

Tenslotte zijn deze waarden ook vergeleken met de maximale afstanden tot waar de beide waarnemers vliegtuigen konden vergelijken in de local area, hierbij zijn de afstanden bepaald met de radar van de verkeersleiding.

Afstanden tussen de 5 en 7 nm bleken daar mogelijk (tolerantie op de meting is 1 nm), deze waarden liggen weer iets hoger dan de modelwaarden maar zijn niet ongebruikelijk gezien het feit dat het doel wordt nagekeken tot het niet meer zichtbaar wordt in plaats van dat het ontdekt wordt terwijl het naderbij komt.

Titel	Beperkingen van het 'See and avoid' systeem
Subtitel	Zoektocht naar een optimale scanstrategie en combinaties van veilige snelheden en zichtwaarden
Projectnummer	<n.v.t.>
Status	Definitief
Versienummer	6
Datum	23 september 2004

Bijlage D Schatting aantal conflictsituaties

Een eenvoudige inschatting van de botsingskans kan worden gemaakt met een dichtheidsmodel.

Het luchtruim wordt verdeeld in een aantal cellen die precies een vliegtuig kunnen bevatten. Omdat wingspan vs. lengte verhouding dicht bij één ligt wordt de cel afmeting: wingspan in het kwadraat maal hoogte. Uitgaande van een gemiddeld GA vliegtuig geeft dit $35\text{ft} \times 35\text{ft} \times 10\text{ft} = 10^4\text{ft}^3$.

Het aantal cellen in een luchtruim wordt verkregen door het volume van het luchtruim te delen door de cel grootte. Het Nederlandse luchtruim is ca 150 bij 100 nm. Voor de hoogte beschouwen we het deel tussen de 500 en 2500 ft. Uitgaande van 6000 ft per nm geeft dit: $150 \times 6000 \times 100 \times 6000 \times 2000 = 10^{11}\text{ft}^3$.

De vliegtuigdichtheid van Nederlandse het luchtruim is dan $A \times 10^{-11}$

Het gemiddeld aantal cellen wat een vliegtuig per uur doorkruist is: $V(\text{knots}) \times 6000 / 35$. Uitgaande van een gemiddelde snelheid van 140 KTAS geeft dit 24000 cellen per uur.

De botsingskans per vliegtuig per uur wordt verkregen door de verkregen waarde van 24000 cellen per uur te vermenigvuldigen met de vliegtuigdichtheid. Dit geeft $24000 \times A \times 10^{-11} = 24 \times A \times 10^{-8}$

De botsingskans van alle vliegtuigen per uur is dan: $24 \times A^2 \times 10^{-8}$ en omdat een botsing altijd twee toestellen betreft is het aantal botsingen gelijk aan $12 \times A \times 10^{-8}$

Uitgaande van 200 vliegbare dagen en 10 uur per dag zijn er per jaar 2000 vlieguren beschikbaar. Het aantal botsingskansen per jaar wordt dan: $24 \times A^2 \times 10^{-5}$.

Hieruit volgt eenvoudig dat bij er bij 100 vliegtuigen 2 potentiële botsingen per jaar zijn en bij 200 vliegtuigen ca 10.

Dit eenvoudige model gaat uit van een uniforme verdeling, in werkelijkheid zullen er echter gebieden zijn met een veel hogere en veel lagere dichtheid. Door concentratie van verkeer in bepaalde gebieden (wat in feite een verkleining is van het beschikbare gebied) zal de botsingskans verder toenemen. Een nauwkeuriger analyse is mogelijk als voor deelgebieden de intensiteit bekend is.

Voor het doel van deze studie volstaat echter dat de berekening aan toont dat de 'Big Sky' theorie niet werkt. Met de huidige verkeersintensiteit zijn er genoeg potentiële conflict situaties.