

CAESAR: een multispectrale CCD-scanner voor toepassingsgericht remote sensing onderzoek

Dr. Ir. N.J.J. Bunnik

*Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium,
Amsterdam.*

Inleiding

Sedert 1981 draagt het Directoraat-Generaal voor het Wetenschapsbeleid van het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen bij aan de financiering van op toepassingen gerichte remote sensing onderzoeksprojecten en aan de ontwikkeling van daarvoor benodigde apparatuur.

De nu in ontwikkeling zijnde apparatuur voor het verrichten van remote sensing opnamen vanuit vliegtuigen omvat een multispectrale CCD-scanner voor waarnemingen in het zichtbare licht en het nabije reflectie-infrarood, en een C-band microgolfscaatrometer, bestemd voor onderzoek naar het interactieproces tussen microgolven en het zee- en landoppervlak. Dit artikel geeft een overzicht van de doelstelling, de specificaties en de gebruiksmogelijkheden van de CCD-scanner, die wordt ontwikkeld en gerealiseerd door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium en de Technisch-Physische Dienst TNO-TH.

Doelstelling en uitvoering

Het gebruik van lineaire detectorarrays voor de beeldvorming in een of meer spectrale gebieden van het zichtbare licht en het reflectie-infrarood biedt in vergelijking tot de klassieke techniek, waarbij gebruik wordt gemaakt van lijnsgewijze aftasting met behulp van een roterende spiegel en afbeelding op een of enkele detectoren, de volgende voordelen:

- aanmerkelijk langere integratietijd, waardoor het ruimtelijk oplossend vermogen kan worden vergroot.
- verbeterde kwaliteit van de afbeelding van het aardoppervlak in geometrische zin.
- ontbreken van mechanisch bewegende onderdelen.

Deze detectorarrays kunnen in de vorm van z.g. "Charged Coupled Devices" (CCD's) geïntegreerd worden tot lineaire of twee-dimensionale arrays met zeer veel detectorelementen op een lijn of (nu nog met een beperkt aantal) op een matrix. Hierdoor kan met de gewenste geometrische resolutie een oppervlak van voldoende grootte opgenomen worden.

De nadelen van de huidige CCD's zijn de hogere eisen die worden gesteld aan de afbeeldingskwaliteit in het beeldvlak van de hoofdoptiek, de problemen die zich voordoen bij de (relatieve) radiometrische kalibratie en het golflengte-interval dat zich bij silicium CCD's beperkt tot het gebied van 400 tot 1100 nm.

Het gebruik van CCD detectoren is met name aantrekkelijk voor toepassing voor multispectrale remote sensing vanuit satellieten, waardoor ondanks de grote afstand vanaf de satelliet tot het aardoppervlak toch een voldoende groot geometrisch oplossend vermogen wordt vereist (ordegrootte: 10 - 30 meter). Het ontbreken van mechanisch bewegende delen levert bovendien het voordeel dat de verwachte technische levensduur kan worden verbeterd.

Op verschillende plaatsen wordt reeds met CCD's voor remote sensing toepassingen geëxperimenteerd of zullen zij voor satellietinstrumenten worden gebruikt. In dit verband wordt verwezen naar de toepassing van CCD's in de Franse aardobservatiesatelliet SPOT die in 1984 zal worden gelanceerd, de Duitse experimenten met een CCD-scanner vanuit een van de toekomstige Spacelab vluchten, de Japanse plannen voor een landobservatiesatelliet en de satellietconcepten die momenteel in de Verenigde Staten worden uitgewerkt.

Ook in ESA verband zijn studies uitgevoerd waarbij wordt uitgegaan van het gebruik van CCD's voor landobservatiemissies. In Nederland wordt sedert 1979 een voorbereidende studie uitgevoerd naar een aardobservatiesatelliet voor de tropen, de zogeheten "Tropical Earth Resources Satellite" (TERS). Voorgesteld is de TERS uit te rusten met een optisch instrument waarin CCD-detectoren worden toegepast. Alhoewel de ontwikkeling van een derde nationale satelliet na het succes van de IRAS binnen de komende termijn niet wordt voorzien, maakt de TERS in de verdere toekomst wellicht een goede kans, indien voor een nationaal satellietprogramma alsnog mogelijkheden zouden ontstaan.

In het kader van de Nederlandse activiteiten op het terrein van het ontwikkelen van remote sensing technieken en de daarbij vereiste praktische technische ervaring werd door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium in samenwerking met de Technische Fysische Dienst TNO-TH bij Wetenschapsbeleid in 1980 een voorstel ingediend voor de ontwikkeling, de bouw en de beproeving van een experimentele multispectrale CCD-scanner, te gebruiken vanuit een vliegtuig.

De doelstelling van het project was het opbouwen van technische kennis en ervaring met betrekking tot het gebruik van CCD detectoren voor remote sensing toepassing voor land- en zeeobservatie. Daarbij kon worden voortgebouwd op de bij de TPD reeds aanwezige kennis op detectorgebied en op optisch gebied en op de NLR-kennis en ervaring met betrekking tot de signaalverwerking en registratie, de remote sensing beeldverwerking en het gebruik van de laboratoriumvliegtuigen. Een afgeleide doelstelling was dat Nederlandse remote sensing kennis kon worden ingebracht in het systeemontwerp, en dat het gerealiseerde systeem ter beschikking kon worden gesteld van Nederlandse remote sensing onderzoeksprogramma's in nationaal en internationaal verband. Kennisvergroting op het gebied van de toepassingsmogelijkheden van CCD detectoren kon daarbij ten goede komen aan de TPD, het NLR en mogelijke andere

industriële deelnemers, voor zover het het werkterrein betreft in ESA-verband, en deze ook kan worden aangewend in het kader van de eerder genoemde studies voor de TERS.

Nadat Wetenschapsbeleid de eerste fasen uit te voeren tot en met 1983 had goedgekeurd werd op 1 oktober 1981 met de definitiefase aangevangen. In het project treedt het NLR als hoofdaannemer op en is verder verantwoordelijk voor de signaalverwerking, de operatiën vanuit het Metro II laboratoriumvliegtuig en de beeldverwerking. De TPD realiseert de eigenlijke multispectrale sensor.

Naast de definitiefase, die in september 1982 werd afgesloten, bestaat het project uit een ontwerp- en bouw fase en een beproevings- en een evaluatie en modificatiefase.

Wanneer ook na 1983 voortgezette financiering kan worden gevonden, zal de CCD-scanner medio 1984 volgens de huidige planning beschikbaar komen voor het uitvoeren van de eerste proefvluchten.

Het project verkreeg het acronym CAESAR, hetgeen staan voor "CCD Airborne Experimental Scanner for Applications in Remote Sensing"

Gebruikerseisen en specificaties

Binnen een aantal technische randvoorwaarden zijn tijdens de definitiefase in overleg met Nederlandse remote sensing onderzoekers gebruikerseisen vastgesteld. Deze onderzoekers zijn verbonden aan de Landbouwhogeschool Wageningen, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Rijkswaterstaat, het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee en het Internationaal Instituut voor Luchtkaartering en Aardkunde (ITC).

De CAESAR-scanner diende te voldoen aan eisen te stellen vanuit zowel het observeren van het landoppervlak (met name vegetatie) als het zeeoppervlak (met name de zeewaterkleur). De beperkende randvoorwaarde was dat per spectraal gebied (band of filter) slechts gebruik zou worden gemaakt van één lineaire CCD-detector. Daarbij was het uitgangspunt dat de te gebruiken detectoren niet

zelf worden ontwikkeld maar dat na een diepgaand laboratoriumonderzoek een keuze zou worden gemaakt uit reeds op de markt verkrijgbare CCD's. Verder zou voor de afbeeldingsoptiek gebruik worden gemaakt van standaardobjectieven.

De gebruikerseisen voor *landobservatie* zijn samengevat in tabel 1. De spectrale bandenkeuze is daarbij bepaald door het reflectiegedrag van vegetatiedekken.

In figuur 1 wordt schematisch weergegeven hoe het CAESAR-concept is afgeleid uit de gebruikerseisen voor land- en zeeobservatie. Tevens wordt hier het scanprincipe duidelijk gemaakt. Het CCD detector array wordt door de hoofdoptiek op het terrein afgebeeld. Door de voorwaartse beweging wordt het signaal over alle beeldelementen simultaan geïntegreerd en periodiek lijn na lijn analoog uitgelezen. Hieruit volgt direct dat de observatietijd in deze zoge-

Spectrale band	$NE\Delta\rho$ (%) [*]
Band 1 535 - 565 nm	≤ 0.5 %
Band 2 655 - 685 nm	0.5 %
Band 3 845 - 895 nm	0.5 %
δf	
770 - 820 nm	0.5 %

In plaats van drie smalle banden kunnen ook drie door het ITC voorgestelde spectrale correlatiefilters gebruikt worden.

Totaal gezichtsveld	30°
Momentaan gezichtsveld	0,26 mrad
Minimaal ruimtelijk oplossend vermogen	0,5 m x 0,5 m
Meetomstandigheden	
maart - september	10 - 16 uur

Tabel 1 Gebruikerseisen voor Landobservatie

heten "push-broom" mode vele malen groter is dan in het geval van een klassieke mechanische scanner.

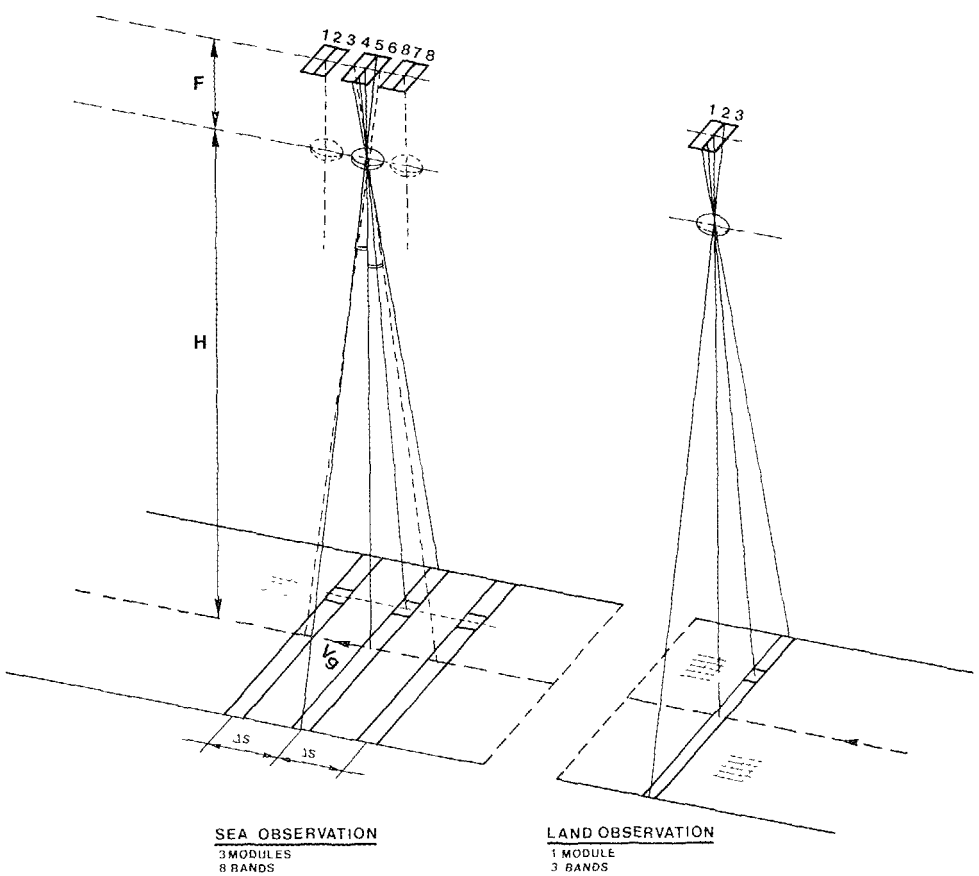
In figuur 2 wordt het principe aangegeven waarop een optie voor vegetatie-observatie berust. De CAESAR-scanner wordt uitgerust met een voorwaarts "kijkende" module in drie spectrale banden. Door zowel het vegetatiedek recht onder het vliegtuig als onder een schuine hoek van ongeveer 50° met de normaal op te nemen, wordt met opzet het niet-ideaal diffuus reflectiegedrag in de drie spectrale banden geregistreerd. Achtergrondonderzoek heeft aangetoond dat het reflectiegedrag van vegetatiedekken en landbouwgewassen afwijkt van dat van een ideale (Lambert) verstrooier.

In plaats van het zoeken naar correctiemethoden voor dit richtingsafhankelijke reflectiegedrag (dat overigens nauwelijks haalbaar is) wordt dit gedrag gemeten als een extra kenmerk dat gewas- en groeifasekarakteristiek kan zijn. Naar verwachting kan het gewasidentificatievermogen van CAESAR door het toepassen van deze "dual look" mode worden opgevoerd. Figuur 2 geeft weer hoe in de multispectrale kenmerkrimte de gewassen kunnen worden afgebeeld in de neerwaartse en voorwaartse observatiemode.

Voor het observeren van de spectrale eigenschappen van de diffuus in opwaartse richting verstrooide zonnestraling vanuit het zeewater worden aan CAESAR geheel andere eisen gesteld.

Ten eerste vervalt de eis om in hoog ruimtelijk detail waar te nemen. Juist voor het vaststellen van de diffuse component die vanuit het zeewater in de richting van de sensor wordt verstrooid, is het noodzakelijk om over een groter oppervlak uit te middelen, vanwege de lokale versturende invloed van het in beweging verkerende wateroppervlak.

Vervolgens is het dynamisch bereik van de gemeten signalen veel beperkter. Verder is een correctie wenselijk voor Fresnelreflectie van de hemelstraling aan het eigenlijke oppervlak en dient het observeren van directe zonnereflectie beslist vermeden te worden.



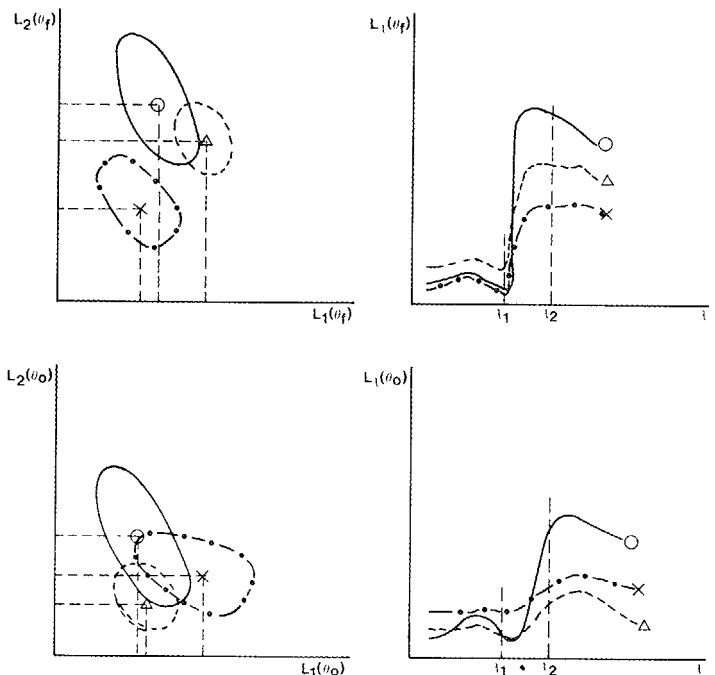
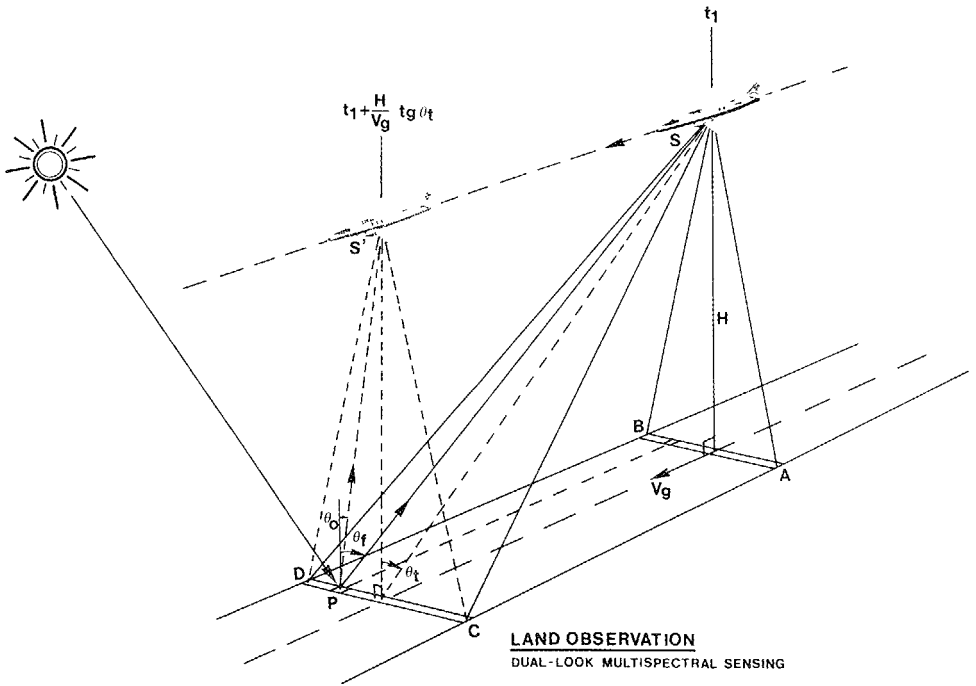
Figuur 1. Gebruik van CAESAR voor land- en zeeobservatie. Voor landobservatie wordt van elke module het centrale CCD gebruikt. Voor zeeobservatie wordt in 9 kanalen gemeten en worden de resolutie-elementen per kanaal van elke module in de tijd sequentieel opgenomen.

De gebruikerseisen voor het spectraal oplossend vermogen verschillen van die voor landobservatie als gevolg van de andere selectieve lichtabsorptie-eigenschappen van de in het zeewater aanwezige zwevende stoffen.

Het toepassen van een correctie voor de Fresnel reflectie van de hemelstraling vereist bovendien extra spectrale banden in het reflectie-infrarood. In dit gebied is de diffuse straling vanuit het zeewater zelf bijna verwaarloosbaar. De zwevende stoffen die veelal voorkomen zijn het plankton met daarin aanwezig het blauw

en rood absorberende chlorofiel, de zgn. "Gelbstoffe" dat zijn organische afbraakproducten die voor rivieren in zee worden geloosd, en niet direct selectief absorberende hydrosolide sedimenten of industriële verontreinigingen.

Uit onderzoek naar het reflectiegedrag voor directe zonnestraling is gebleken dat het combineren van een keuze van de vliegrichting en het instellen van de scanner onder een voor- of achterwaarts gerichte vaste hoek van 10° à 20° t.o.v. de verticale, detectie van direct gereflecteerde zonnestraling vermijdt.



Figuur 2 Principe van de "dual-look" mode van CAESAR, bestemd voor observatie van vegetatie. Het richtingsafhankelijke reflectiegedrag wordt gemeten als extra kenmerk ten behoeve van het verbeteren van gewasherkenning

De gebruikerswensen voor zeeobservatie zijn samengevat in tabel 2.

Spectrale band	NE $\Delta\rho$ (%)
Band 1 400 - 420 nm	≤ 0.05
Band 2. 435 - 455 nm	0.05
Band 3 510 - 530 nm	0.05
Band 4. 555 - 575 nm	0.05
Band 5. 620 - 640 nm	0.05
Band 6: 675 - 695 nm	0.05
Band 7 770 - 800 nm	0.05
Band 8. 900 -1050nm	0.05
Ruimtelijk oplossend vermogen	10 à 20 m
Totaal gezichtsveld	30°
Scanner "tilt"	. 10° à 20° voor- of achterwaarts
Meetomstandigheden	. gehele jaar (10 - 16 uur)

Tabel 2. Gebruikerseisen voor zeeobservatie.

De positie van de CAESAR gekozen spectrale banden voor land- en zeeobservatie is weergegeven in figuur 3.

Als optie voor CAESAR zal in een later stadium een zonnensensor overwogen worden. Met behulp van dit additionele instrument kan in de gekozen spectrale banden de optische transmissie tussen aardoppervlak en vliegtuig bepaald worden. Hierbij wordt voorgesteld het instrument in tweevoud uit te voeren, waarbij een exemplaar in het vliegtuig geplaatst wordt en het andere exemplaar (of eventueel meer) op de "grond" wordt gebruikt. Het meten van de transmissie tussen object en sensor kan toegepast worden voor het corrigeren van de opgenomen beelden voor deze invloed van de atmosfeer.

Configuratiekeuze

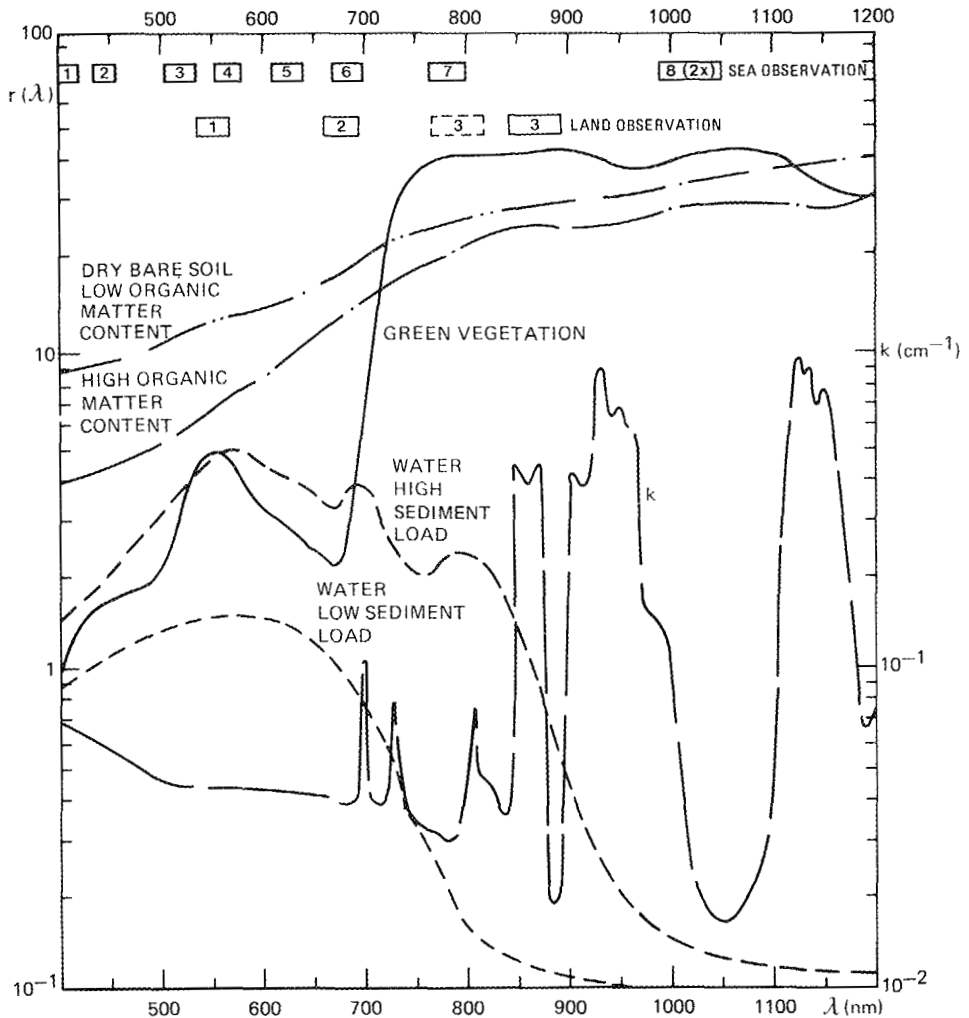
Tijdens de configuratiestudie voor CAESAR is een afweging gemaakt tussen de volgende mogelijkheden voor de spectrale scheiding:

- gebruik van een spectrometer,
- gebruik van dichroïde filters en bundelscheiding;
- gebruik van aparte modules met voor elke module een eigen objectief en bandfilter;
- gebruik van aparte modules met ruimtelijke veldscheiding.

De spectrometer is verworpen vanwege de problemen die op zouden treden bij de praktische uitwerking. De voornaamste problemen betroffen het gezichtsveld, de hoge kwaliteitseisen die worden gesteld aan de hoofdoptiek i.v.m. het grote gezichtsveld en de vereiste relatieve opening, en de problemen die verband hielden met de correctiemogelijkheden voor kleurfouten.

Het gebruik van dichroïtische kleurscheiding verviel als mogelijke oplossing, vooral vanwege de polariserende eigenschappen welke met name bij zeeobservatie niet gewenst zijn.

Voor CAESAR kwamen daarom zowel



Figuur 3 Positie van de voor CAESAR gekozen spectrale banden voor land- en zeeobservatie

de oplossing in de vorm van aparte modules, als die van aparte modules met ruimtelijke veldscheiding in aanmerking.

Het voordeel van de laatste oplossing is dat per module drie spectrale banden

(afbeelding op drie veldgescheiden CCD's met voorzetfilters) ondergebracht kunnen worden. Vanwege het gecombineerd gebruik voor land- en zeeobservatie en het gebruik van een extra module voor "dual-look" observatie van vegetatie is de voorkeur

gegeven aan een compacte opbouw, bestaande uit modules met elk drie CCD's. In drie modules kunnen voor landobservatie elk een der drie CCD's uitgelezen worden. Daardoor wordt bovendien een zeer nauwkeurige "co-registratie" van de drie opnamen in de drie spectrale banden mogelijk. Met behulp van een schuin voorwaarts gerichte module met drie CCD's en met een objectief met aangepaste brandpuntsafstand wordt de "dual-look" mode gerealiseerd. Doordat het NLR reeds programmatuur heeft ontwikkeld voor het geometrisch corrigeren van remote sensing opnamen vanuit vliegtuigen als gevolg van afwijkende vliegbewegingen, kan de "co-registratie" in "software" worden verzorgd.

Op elegante wijze worden voor zeeobservatie de acht spectrale banden verdeeld over de drie neerwaarts gerichte modules, die gezamenlijk volgens de gewenste "tilt-hoek" worden ingesteld. Het signaal verkregen in band 8, in tweevoud, wordt toegepast om in combinatie met het signaal in band 7 te corrigeren voor de invloed van door de atmosfeer verstrooide straling, en voor de Fresnelreflectie van de hemelstraling aan het wateroppervlak. Het nadeel van deze methode is evenwel dat de opnamen in de afzonderlijke banden in de tijd sequentieel verkregen worden. De geringe ruimtelijke resolutie daarentegen stelt geringere nauwkeurigheidseisen aan de co-registratie van de in de 8 banden opgenomen 9 beelden. Het signaal dat over het resolutie-element van 10 à 20 m optreedt als gevolg van de opwaarts verstrooide diffuse straling, zal binnen een kort tijdsinterval van enige seconden nauwelijks variëren, waardoor sequentiële registratie is verantwoord. Voorbereidende metingen vanaf hoge torens direct aan zee hebben dit overigens aangetoond. In figuur 1 wordt weergegeven hoe voor land- en zeeobservatie van elk van de drie modules gebruik wordt gemaakt.

Sensordimensionering en ontwerp

Voor de dimensionering van het sensorstelsel is met name de gemeten signaalsterkte van belang. Deze hangt af van de

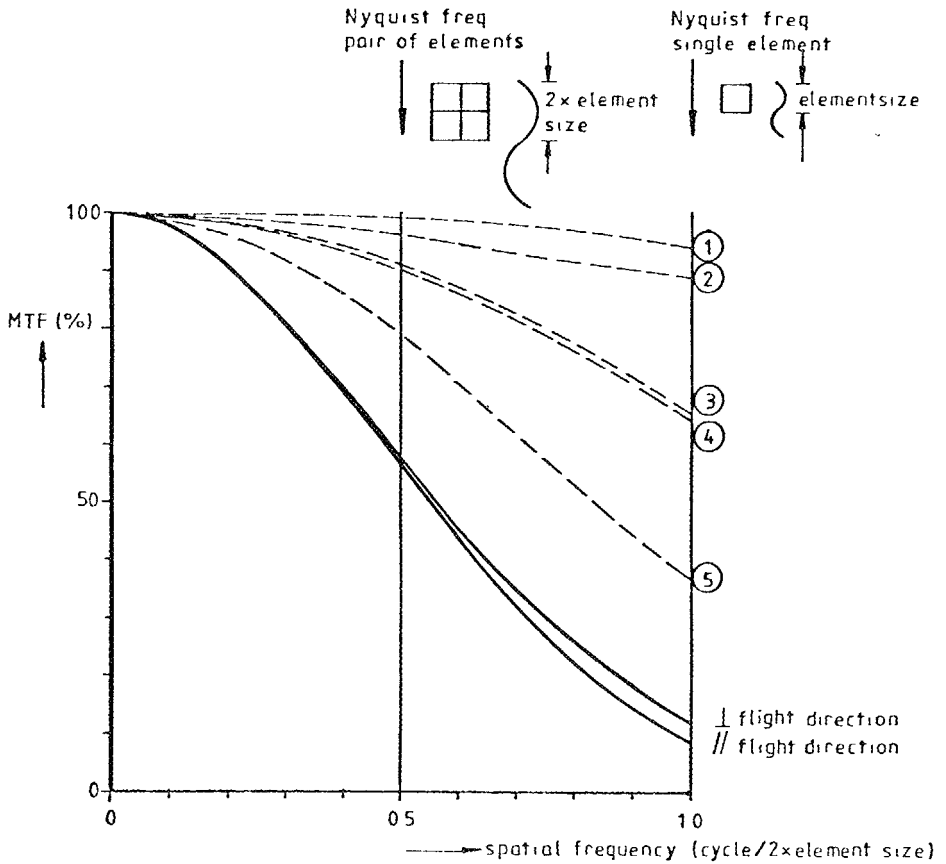
irradiantie van het object, de richtingsafhankelijke reflectie, de transmissie van de atmosfeer, de relatieve opening en de transmissie van de optiek en het gebruikte bandfilter, en de spectrale gevoeligheid, de bandbreedte, de bandpositie en de integratietijd van elk detector. Vervolgens speelt het achtergrondsignaal, de zgn. detectieruis een belangrijke rol.

Voor de dimensionering boven land is uitgegaan van een zonnestand van 65° t.o.v. de verticaal, een ongunstige atmosferische transmissie (slechts 0,35), een spectrale bandbreedte van 30 nm bij 550 nm, een meettemperatuur van 25° C, een temperatuurstabilisatie van $\pm 2^\circ$ C, een transmissie van de optiek van 0,50 en een integratietijd van 5 msec (behorend bij een ruimtelijke resolutie van 0,5 m). Verder is uitgegaan van de vereiste radiometrische resolutie van 0,5 % reflectieverschil.

De uitwerking hiervan leidt tot een relatieve opening van de optiek van F/2,6. De dimensionering voor het geval van metingen boven zee leidt vanwege het veel geringere radiantieniveau en uitgaande van F/2,6 tot de eis om een temperatuurcorrectie uit te voeren van de donkerstroomkalibratie in combinatie met een verbeterde temperatuurstabilisatie.

Een presentatie van de berekende modulatie overdrachtsfunctie is opgenomen in figuur 4.

In figuur 5 wordt het conceptontwerp van een afzonderlijke CAESAR-module weergegeven. De 3 CCD's zijn elk apart gemonteerd op speciaal ontworpen manipulators. Deze manipulators voldoen aan de mechanische stijfheidseisen die aan CAESAR worden gesteld in verband met het vermijden van inter-band misregistraties als gevolg van vrije trillingen. De manipulators maken het tevens mogelijk om de CCD's met grote nauwkeurigheid in het beeldvlak te justeren. De veldscheiding is gerealiseerd met behulp van twee prisma's voor het paar CCD's bestemd voor zeeobservatie. De spectrale filters kunnen met behulp van aparte houders voor elk CCD geplaatst worden. Wanneer voor landobservatie de ITC-spectrale correlatiefilters gebruikt worden,

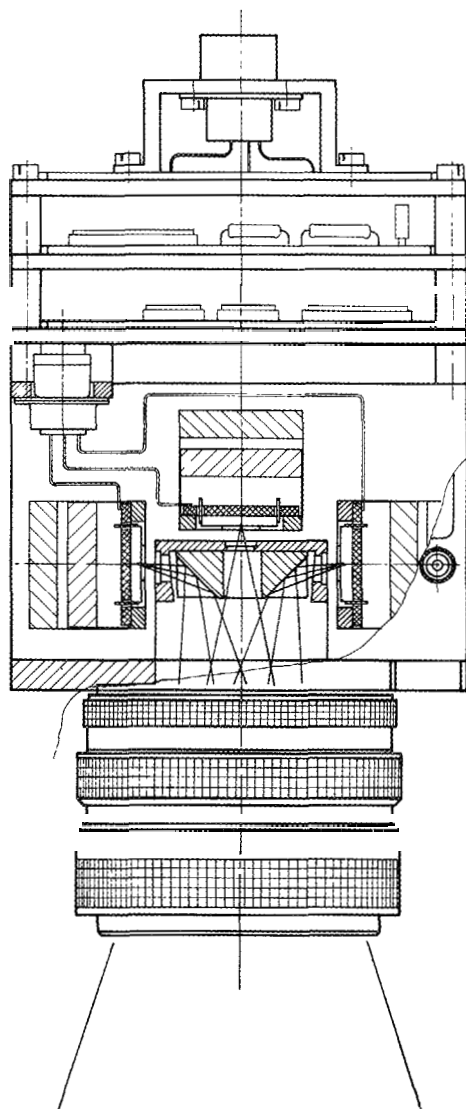


Contributions

- ① Channel stop
- ② Crosstalk
- ③ Movement image smear
- ④ Element dimension ($13 \mu\text{m}$)
- ⑤ Optical quality (HEW = $9 \mu\text{m}$)

Figuur 4: Modulatie overdrachtsfunctie voor CAESAR bij $\lambda = 670 \mu\text{m}$

worden de bandfilters voor elk der drie centrale CCD's verwijderd en worden de correlatiefilters voor elk der drie objectieven geplaatst. Een perspectivische weergave van het CAESAR-voortontwerp is gegeven in figuur 6. Duidelijk is te zien dat de drie neerwaarts gerichte modules zijn



Figuur 5: Concept-ontwerp voor de CAESAR-module

opgenomen in een gesloten kast die in een der secties van een speciaal juk wordt ondergebracht. Deze kast wordt doorgespoeld met temperatuurgestabiliseerde en gedroogde lucht. De kast zelf kan volgens de vereiste "tilthoek" worden ingesteld. De voorwaarts "kijkende" module bevindt zich in de andere sectie van het juk. Deze wordt eveneens met luchttemperatuur gestabiliseerd.

Het juk zelf zal uit twee afzonderlijke delen bestaan, waarbij het binnenste deel geplaatst kan worden in een RC-10 camera mount. Hierdoor wordt CAESAR in principe ook monteerbaar in een vliegtuig dat is uitgerust voor luchtfotografie. Het CAESAR-juk wordt aangepast aan de voorzieningen van het cameraluik van het Metro II laboratoriumvliegtuig van het NLR. In dit cameraluik bevindt zich een optisch venster, waardoor de scanner niet direct aan de buitenlucht wordt blootgesteld.

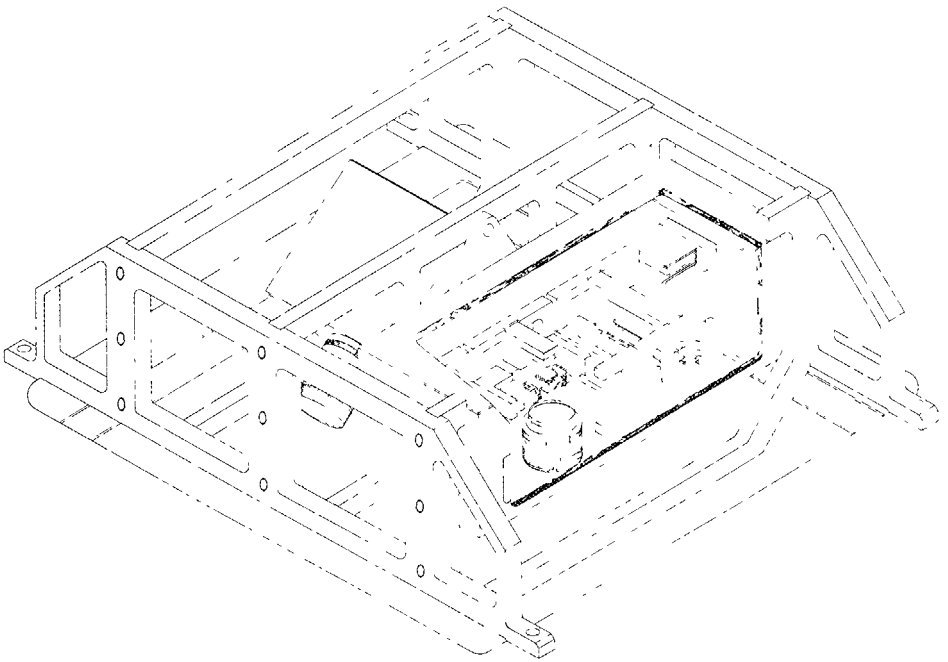
Selectie en beproeving van CCD detectoren

Uit een marktonderzoek is gebleken dat in principe 19 verschillende typen lineaire CCD-arrays verkrijgbaar zijn. In verband met de gehanteerde selectiecriteria die betrekking hadden op de gewenste technische prestaties en de commerciële verkrijgbaarheid is de eerste keuze gevallen op een drietal fabrikanten die elk een CCD leveren opgebouwd uit 1728 detectorelementen.

Om zowel een uiteindelijke keuze te kunnen bepalen op basis van een gedetailleerd vergelijkend onderzoek naar de eigenschappen van de CCD's en alsmede om kennis en ervaring op te doen omtrent de optische, thermische en elektrische eigenschappen van CCD's is door de TPD daarvoor een aparte testopstelling gebouwd.

De mogelijkheden van deze testopstelling zijn onder meer:

- uniforme belichting van het gehele CCD is mogelijk
- belichting binnen het detectorelement van $13 \mu\text{m} \times 13 \mu\text{m}$ is mogelijk met een laserbundel met een diameter van $5 \mu\text{m}$ (bij $\lambda = 633 \text{ nm}$)



Figuur 6: Mechanische voorontwerp van het CAESAR-sensorsysteem.

- simultane visuele inspectie m.b.v. een microscoop
- opslag en verwerking van CCD signalen met een microcomputer
- microcomputer gestuurde intra-element spot-scanning.

De in uitvoering zijnde tests betreffen de onderdelen:

1. testen met elektrisch ingangssignaal:
 - transportefficiency
 - verzadiging transportregister
 - conversiefactor gegenereerde lading - uitgangsspanning
 - on-chip versterking.
2. testen zonder stimulus:
 - donkerstroom (niet uniformiteit en temperatuurafhankelijkheid)
 - uitleesruis.
3. testen onder uniforme verlichting:
 - detectorgevoeligheid
 - radiometrische lineariteit en verzadiging.

4. testen met puntafbeelding:
 - detectoroverspraak
 - transportefficiency
 - intra-element niet-uniformiteit

Data acquisitie en registratiesysteem

Het voor CAESAR te realiseren systeem wordt afgeleid uit de systeemopzet voor data acquisitie en registratie zoals die door het NLR reeds is ontwikkeld voor het "side-looking airborne radar" systeem (SLAR), de vroeger gebruikte Reconofax infrarood lijnscanner en voor videocamera's.

Het analoge sensorsignaal wordt aan boord van het vliegtuig gedigitaliseerd met behulp van de CAESAR analoog-digitaal omzetter "CEDIG" en vervolgens met de data formatter "DAF" op een gemeenschappelijk formaat gebracht, waarna het aldus verwerkte sensorsignaal wordt aangeboden aan de "high bit rate recording" elektronica. Op een z.g. HBR recorder worden tevens een kloktijd en voor de verdere verwerking van belang zijnde

vliegtuigmeetgegevens meegeschreven.

Op de grond worden met behulp van de HBR afspeelrecorders van het NLR en een computersysteem de op "high density tape" (HDT) opgenomen gegevens geconverteerd naar digitale data op "computer compatible tape" (CCT). Tevens kan daarbij op "dry silver" film een z.g. "quick look hard copy" vervaardigd worden.

Op de HBR-vluchttape van 4800 voet lengte kunnen met een snelheid van 60 inch per seconde en een schrijfdichtheid van 23.600 bits per inch over 6 sporen in ca. 15 minuten 680 megawoorden van 12 bits geschreven worden. Een vluchttape met 15 minuten opname volgens de maximale datainvoercapaciteit van 8,5 megabits per seconde levert dan 34 CCT's met een schrijfdichtheid van 1600 bits per inch, verdeeld over 9 tracks en een tapelengte van 2400 voet.

Het aantal resolutie-elementen per lijn (z.g. pixels) dat door de analoogdigitaalomzetter bemonsterd wordt bedraagt of 1024 of 2048. Deze voorwaarde wordt gesteld vanuit het NLR data acquisitie systeem. Een elektronische rolcorrectie van het opgenomen beeld wordt gerealiseerd door of binnen 2048 geregistreerde meetwaarden de 1728 pixels te positioneren, of door uit de 1728 opgenomen pixels 1024 pixels te selecteren. De rolbeweging van het vliegtuig om de lengte van de romp veroorzaakt immers een verplaatsing van de scanlijn dwars op de momentane vliegrichting. Een rolcorrectie dient er zorg voor te dragen dat de te werken scanlijn van 1024 of 1728 pixels op de juiste positie ten opzichte van het aardoppervlak, dat vanuit de momentane rolstand werd opgenomen, ook wordt afgebeeld.

Vanwege de maximale invoercapaciteit van het HBR systeem kunnen voor toepassingen boven land met een geometrisch oplossend vermogen van 0,5 m slechts

1024 pixels worden uitgelezen. Het aantal kanalen (banden of correlatiefilters) bedraagt dan 3. Bij een vlieghoogte van ongeveer 1900 m is de opgenomen strookbreedte ongeveer 512 m en is de integratietijd per beeldelement 5 msec.

Het gebruik van drie spectrale banden voor de neerwaartse en voorwaartse opname voor gewasherkenning en monitoring wordt voorgesteld bij een geometrisch oplossend vermogen van tenminste 1 m.

In dit geval worden uit de 2048 metingen de 1728 pixels uitgelezen. De integratietijd bedraagt dan meer dan 10 msec en de opgenomen strookbreedte meer dan 1728 m bij een vlieghoogte van ongeveer 3900 m. Voor metingen boven zee zal de integratietijd 50 à 100 msec bedragen, de strookbreedte 2 km of meer, afhankelijk uiteraard van de vlieghoogte, en het oplossend vermogen van 10 à 20 m, opgenomen in de 9 kanalen.

In verband met de gewenste radiometrische resolutie overeenkomend met 0,05% reflectieverschillen en om z.g. "fixed noise" bijdragen uit het signaal te kunnen elimineren zal de analoog-digitaalconversie met 12 bits per pixel en per kanaal plaatsvinden.

Slotopmerking

Met het beschikbaar stellen van financiële middelen uit het Stimuleringsfonds van Wetenschapsbeleid wordt beoogd de omvang en de kwaliteit van de Nederlandse remote sensing inspanningen naar een hoger niveau te brengen. Daardoor worden zowel onderzoekers als het bedrijfsleven perspectieven geboden om de verwachte resultaten aan te wenden ten dienste van het ontwikkelen van nieuwe toepassingen en producten.

Verwacht wordt dat de ontwikkeling, de bouw en de beproeving van de in deze bijdrage beschreven CAESAR-scanner daaraan een belangrijke bijdrage zal leveren.