

II. Passieve Infraroodsystemen

door ir. A. N. de Jong, Fysisch Laboratorium RVO-TNO Den Haag

Synopsis: *Passive Infrared Systems.*

On thermal infrared pictures, the density of the film is related to the temperature of the corresponding point in the scene. These heat pictures give very useful information to the photo-interpreter, if they are combined with normal photographs. In this way it is even possible to obtain information about structures below the surface, where applications in the field of geology and oceanography are obvious.



1. Declassificatie

Het is begrijpelijk dat het beschikbaar komen van thermische infrarood-camera's (T.I.C.'s) zo lang op zich heeft laten wachten indien men bedenkt dat het vooral militaire toepassingen waren die het gebruik in de eerste plaats bepaalden. Het contrast van een vliegtuig tegen een hemelachtergrond, een schip tegen de zeeachtergrond of een tank in het terrein is in het thermische infrarood immers groter dan in welk ander golflengtegebied, ongeacht het tijdstip van de dag, terwijl camouflage van een dergelijk warmte producerend object een moeilijke zaak is in het betreffende golflengtegebied.

De declassificatie van T.I.C.'s in het begin der zestiger jaren en van sommige typen pas tegen het eind van genoemd decennium, heeft toepassing op andere gebieden mogelijk gemaakt. Een andere factor, die de introductie van T.I.C.'s heeft geremd is de prijs, die, afhankelijk van het type varieerde van een kleine ton tot een kwart miljoen. Deze hoge prijs, die de laatste jaren overigens snel lager wordt, komt doordat de eerste producenten, uit de Verenigde Staten, de vroege kopers van T.I.C.'s mee lieten betalen in de ontwikkelingskosten, en bovendien in dure dollars. Momenteel vindt fabricage in vele landen plaats buiten de Verenigde Staten: Zweden, Engeland, Frankrijk, Duitsland en ook Nederland, hetgeen een gezonde concurrentie oplevert.

2. Historische ontwikkeling

Het feit dat bruikbare T.I.C.'s pas een jaar of tien verkrijgbaar zijn betekent niet dat er vóór de 2e wereldoorlog geen systemen waren waarmee men warmtebeelden kon waarnemen. In feite heeft de infraroodtechniek een lange ontwikkeling meegemaakt, die begonnen is omstreeks 1800 met de ontdekking door Herschel van infraroodstraling, voortgezet met het vervaardigen van detectoren in de rest van de eeuw, waarna omstreeks 1930 met behulp van de zogenaamde evaporograaf een beeld kon worden waargenomen. Een uitvoerige beschrijving van de historie der infraroodtechniek kan men vinden in [1] en [2].

Met de vooruitgang in de halfgeleidertechniek kort na de tweede wereldoorlog werd de ontwikkeling van zogenaamde fotonendetectoren mogelijk, die gekoeld tot voldoende lage temperatuur, zo gevoelig zijn dat hun ruis voor het grootste deel afkomstig is van fotonenruis. Deze winst in gevoeligheid (een factor 100 à 1000) en bovendien winst in snelheid (eveneens een factor 1000) heeft een revolutionaire ontwikkeling van de infraroodtechniek mogelijk gemaakt.

Het maken van een beeld, door met zo'n fotonendetector punt voor punt een tafereel af te tasten (in redelijk korte tijd) ging

tot de mogelijkheden behoren, met behoud van temperatuur onderscheidend vermogen. De aftasting geschiedde mechanisch door bewegende spiegels of prisma's. Een logisch vervolg hierop werd de ontwikkeling van een rijdetector met een dusdanig aantal, dat de aftasting in één van de twee dimensies vervalt. Hoewel prijzig beginnen dergelijke rijen momenteel beschikbaar te komen. De volgende stap: een vidicon, dat gevoelig is voor langgolvlige infraroodstraling is nog in ontwikkeling en zal voorlopig nog niet verkrijgbaar zijn.

Naast de ontwikkeling van detectoren heeft ook de ontwikkeling van koelmethode versneld plaatsgevonden. Oude koeltechnieken van Joule-Thomson en van Stirling werden verfijnd en toegepast, beide met hun voor- en nadelen. Wat nog te wensen overblijft is de ontwikkeling van systemen met een geometrisch scheidend vermogen, vergelijkbaar met dat van normale camera's, d.w.z. een beeld maken, opgebouwd uit 5000 bij 5000 beeldelementen, dat is ongeveer een factor 5 beter dan de huidige camera's.

3. Contrast en transmissie

Door de aanwezigheid van absorberende gassen in de atmosfeer (CO_2 en H_2O) is men qua golflengtegebied beperkt tot enkele banden: 3-5 μm of 8-14 μm [3, 6]. In aanmerking nemende de spectrale verdeling van een zwarte straler van 300 K [4] kan men concluderen dat een klein deel van de eigen straling door de 3-5 μm band doorgelaten wordt en een groter deel door de 8-14 μm band. Terwijl het contrast in de normale fotografie uitsluitend ontstaat door verschillen in reflectiecoëfficiënt (eventueel spectraal verschillend), waardoor een zekere belichting verschillende objecten onderscheidbaar maakt, wordt het contrast in de hiervoor genoemde golflengtegebieden hoofdzakelijk bepaald door temperatuurverschillen. Immers de reflectiecoëfficiënten van de meeste materialen nemen af tot 10 à 20% voor langere golflengte, zodat de bijdrage van het verschil in reflectiecoëfficiënt tot het contrast meestal gering is. Alleen bij onbewolkte hemel of felle zonneschijn is de bijdrage zodanig dat een verschil van 1 à 2% in reflectiecoëfficiënt overeenkomt met een temperatuurverschil van 1 K. Wil men uit de waargenomen stralingsverschillen temperatuurverschillen afleiden dan zijn correcties noodzakelijk [5].

Men bedenke voorts dat temperatuurverschillen op zichzelf veroorzaakt worden door een gecompliceerd proces van energieuitwisseling door verdamping of condensatie, door uitstraling en absorptie, door geleiding en convectie. Deze uitwisseling hangt uiteraard sterk af van de klimatologische omstandigheden in de onmiddellijke omgeving. Plaatselijke verschillen in deze balans (warmtebalans) ontstaan door verschillen in geleidbaarheid, soortelijke warmte en oppervlaktegesteldheid

[6]. Belangrijke factoren hierbij zijn het tijdstip van de dag en de tijd van het seizoen.

4. Detector, optiek en weergave

Hoewel in het 8-14 μm gebied het contrast het grootst is, is daar het probleem van een goede detector ook het grootst. Dit is begrijpelijk daar de energie per foton voor deze golflengten wel zeer klein wordt (ca. 0,1 eV) en dus ook de benodigde bandafstand voor een foto-effect. Hierdoor is koeling tot nog lagere temperaturen nodig dan bij een 3-5 μm detector. De meest geschikte detector voor het 3-5 μm gebied, InSb wordt tot 77 K gekoeld (vloeibaar N_2), die voor het 8-14 μm gebied, Ge:Hg, tot 25 K. Gelukkig komen nu ook detectoren beschikbaar, gevoelig in het 8-14 μm gebied, die slechts tot 77 K gekoeld behoeven te worden (HgCdTc). Al deze detectoren benaderen qua gevoeligheid de fotonenruisgrens (B.L.I.P.-detector) [7].

De optiek, in het brandvlak waarvan de detector zich bevindt, dient voor de bundeling der fotonen van het tafereel. Waar mogelijk wordt spiegeloptiek gebruikt, waar dit problemen geeft vanwege obscuratie: lensoptiek. Men heeft dan de beschikking over diverse lensmaterialen [8, 9], waarvan germanium en silicium de meest gebruikte zijn. Het is mogelijk lenzen te maken met grote relatieve opening en goed scheidend vermogen over een groot golflengtegebied [10, 11]. Men dient hierbij te bedenken dat voor de hier gebruikte golflengten de diffractie-limiet 10 à 20 maal zo snel is bereikt.

Grote zorg dient bij de lensoptiek besteed te worden aan de anti-reflectie-coatings. Door de hoge brekingsindex (bijv. 4 voor Ge) is het reflectieverlies per oppervlak groot (36%). Een ander probleem is dat uitlijning niet eenvoudig met conventionele middelen mogelijk is. De weergave geschiedt meestal op film via een kathodestraalbuis die elektronisch gesynchroniseerd wordt of via een moduleerbare lamp, die dezelfde aftastingen (maar dan verkleind) uitvoert als de detector. Registratie van het signaal, dat voor sommige T.I.C.'s een bandbreedte kan hebben van 300 kHz, op een taperecorder is uiteraard ook mogelijk. Sommige T.I.C.'s hebben een zogenaamd 'real time display' [12] waarop men direct het warmtebeeld kan bestuderen.

5. Toepassingen

In het algemeen kan men stellen dat T.I.C.'s daar gebruikt worden waar kennis van de oppervlaktetemperatuur gewenst is. In de medische wetenschap is de belangstelling voor T.I.C.'s groot door de mogelijkheid bepaalde kankergezwellen op te sporen, verstoppingen in de bloedvaten en voorliggende placenta [13], alsmede temperatuurverdelingen in wonden te bestuderen.

In industriële kringen is eveneens grote belangstelling vanwege toepassing bij het opsporen van lekken in pijpleidingen, controle van isolatie van muren, van punten waar te hoge temperaturen desastreuze gevolgen kunnen hebben zoals bij snijgereedschap, bij koppelingen van hoogspanningsleidingen, bij microcircuits in elektronische schakelingen [14] en bij lagere treinstellen.

Voor weersvoorspellingen op lange termijn is buiten de verdeling van wolkenvelden de temperatuurverdeling over de aardbol van groot belang. Temperatuurkaarten, zowel van de verlichte als van de onverlichte zijde der aarde worden thans vanuit

satellieten gemaakt [15, 16]. Maar ook op kleinere schaal kan men met T.I.C.'s vaak 'wolkenvelden' waarnemen die met het blote oog niet te zien zijn.

Het gebruik van T.I.C.'s, eventueel naast normale camera's, voor het fotograferen van bodemkundig interessante gebieden, al of niet begroeid ondergaat momenteel een snelle ontwikkeling [17]. Verschillende gewassen blijken onder dezelfde omstandigheden verschillende oppervlaktetemperaturen aan te nemen al of niet veroorzaakt door een bodemgesteldheidsverschil. De tendens is momenteel de signalen in meerdere golflengtekanalen op te nemen [18] op een taperecorder en door middel van elektronische signaalverwerking automatische verkenning te bedrijven.

Bij het maken van opnamen boven zee is het mogelijk warmere stromingen waar te nemen [19], bijvoorbeeld bij de monding van een rivier of daar waar een fabriek warm water loost [20]. Ook in het geval dat het wateroppervlak verontreinigd is, waardoor de emissiecoëfficiënt of de oppervlaktetemperatuur beïnvloed wordt, is detectie mogelijk. Bij al deze toepassingen is het van belang op welk tijdstip van de dag het temperatuurcontrast het grootst is. Voor verschillende objecten kan dit tijdstip verschillend zijn. Het is voor een aantal objecten zelfs zo dat het contrast overdag en 's nachts volledig in fase omkeert, bijvoorbeeld water en land [21].

Conclusie

Waarnemingssystemen, die gebruik maken van straling in het gebied van het thermische infrarood, zullen de komende jaren steeds meer toegepast gaan worden op allerlei wetenschappelijke terreinen, waar meting van temperatuurverschillen aan oppervlakken nuttig is voor de vaststelling van structuren onder de oppervlakte.

Literatuur

- [1] SMITH, JONES and CHASMAR: The detection and measurement of infrared radiation; Oxford at the Clarendon Press 1957: pag. 1 ... 20.
- [2] HUDSON: Infrared System Engineering; Wiley & Sons 1969: pag. 1 ... 8.
- [3] HOWARD and GARING: The transmission of the atmosphere in the infrared- A review; Infrared Physics 2, 155 (1962).
- [4] KRUSE, MC. GLAUCHLIN and MC. QUISTAN: Elements of infrared technology; Wiley; 1962: pag. 20 e.v.
- [5] LORENTZ: Temperature Measurements of Natural Surfaces Using Infrared Radiometers; Appl. Optics 7, 1705 (1968).
- [6] WOLFE: Handbook of Military Infrared Technology; U.S. Government Printing Office Washington D.C. 1965: pag. 73. e.v.
- [7] JAMIESON e.a.: Infrared Physics and Engineering; Mc. Graw Hill 1963: 152 e.v.
- [8] SCOTT: Optics for Infrared Systems; Proc. IRE sept. 1959: pag. 1530 e.v.
- [9] BALLARD, MC. CARTHY, WOLFE: Optical Materials for Infrared Instrumentation; University of Michigan jan. 1959.
- [10] MURRAY: Fast Refractive Infrared Optical Systems; Infrared Physics 2, 37 (1962).
- [11] HERZBERGER and SALZBERG: Refractive Indices of Infrared Optical Materials and Color Correction of Infrared Lenses; J.O.S.A. 52, 420 (1962).
- [12] BORG: Thermal Imaging with Real Time Picture Presentation; Appl. Optics 7, 1967 (1968).

[13] BARNES: Diagnostic Thermography; Appl. Optics 7, 1673 (1968).
 [14] HAMITER: Infrared Techniques for Reliability Enhancement of Microelectronics; Semicond. Prod. 10, 41 (1967).
 [15] HORAN: Spacecraft Infrared Imaging; IEEE Spectrum June/July 1968.
 [16] VAN DER HAM: Stralingsmetingen vanuit weersatellieten II; Hemel en Dampkring; 11, 1969: pag. 349 ... 357.
 [17] MYERS and ALLEN: Electrooptical Remote Sensing Methods as Nondestructive Testing and Measuring Techniques in Agriculture; Appl. Opt. 7, 1819; (1968).

[18] LEGAULT and PIKIJN: Investigations of Multi-Spectral Image Interpretation Proceedings of the third Symposium on Remote Sensing of Environment, (University of Michigan 1965, pag. 813).
 [19] MC LEISH: The Use of an Infrared Mapper in the study of small-scale ocean circulations; Proc. 3rd Symp. Remote Sens: Envir. 1965: pag. 717.
 [20] CLARK: Thermal Pollution and Aquatic Life; Scientific Amer, maart 1969, pag. 19 e.v.
 [21] BLYTHE and KURATH: Infrared Images of Natural Subjects; Appl. Optics 7, 1769 (1968).

III. Integratie en automatisering der verschillende waarnemingssystemen

door dr. ir. G. P. de Loor, Fysisch Laboratorium RVO-TNO Den Haag

Synopsis: *Integration and automation of the various scanning systems.*

Non-conventional mapping systems, such as the side looking radar and the thermal infrared scanning systems give an electrical signal as output which is converted into an image. This conversion can cause losses in the information obtained in the air. It seems profitable therefore to use the electrical image signal immediately. Automation of data handling and interpretation is then a logical sequel. Some lines are indicated to be pursued for the development of interface equipment to connect the sensor of a new mapping system to a computer which can do the automatic handling and interpretation of the data obtained.



1. Inleiding

In de voorafgaande referaten zijn twee geheel nieuwe opname-systemen geïntroduceerd, de 'scanners' en de 'side looking radar', die elk voor zich de mogelijkheden van luchtwaarneming enorm hebben uitgebreid. Zij leveren beelden die nog wel een zekere overeenkomst vertonen met de gewone luchtfotografie, maar het zou onjuist zijn om op grond daarvan genoemde systemen alleen maar te beschouwen als 'camera's voor andere delen van het elektromagnetisch spectrum'. Gangbare criteria voor de beoordeling der verkregen beelden en voor hun gebruik en toepassing zijn dan ook niet zonder meer bruikbaar.

Een voorbeeld moge dit illustreren. Een kleine berekening (1) leert, dat het karteren van een land als bijv. India met behulp van een side looking radar op een schaal 1 : 250 000 ongeveer drie maanden vliegen zal vergen met inachtneming van wachttijden i.v.b. met slecht weer, onderhoud, enz. Het opzetten, resp. verplaatsen van een goed referentiesysteem zou wel eens meer tijd kunnen vergen. Uiteraard biedt dit grote en snelle opnamevermogen van een onder bijna alle weersomstandigheden bruikbaar opnamesysteem enorme perspectieven voor het karteren voor inventarisatie van bijv. de ontwikkelingslanden. Zelfs een land als Brazilië wordt overzienbaar, maar... hoe is al dit beeldmateriaal in hetzelfde of althans in een vergelijkbaar tempo te verwerken? En hiermede zitten we meteen midden in de problematiek, die het inzetten van genoemde niet-conventionele systemen voor luchtwaarneming met zich meebrengt.

2. Probleemstelling

Fig. 1 geeft de huidige stand van zaken aan. Aan de ene kant is er de fabrikant, die graag een goed apparaat verkoopt, aan de andere kant staat de gebruiker, die eigenlijk nog niet goed weet wat hij er mee aan moet, of korter: de een levert een 'plaatje', de ander bekijkt dit als 'foto'. Een goed samenspel waarin probleemstelling en mogelijkheden in onderling overleg duidelijk worden bestaat er nog praktisch niet. Toch zal alleen een nauwe samenwerking van fabrikant en gebruiker kunnen leiden tot optimalisering der apparatuur. Hierbij is apparatuur bedoeld in de ruimste zin: opname-apparatuur met

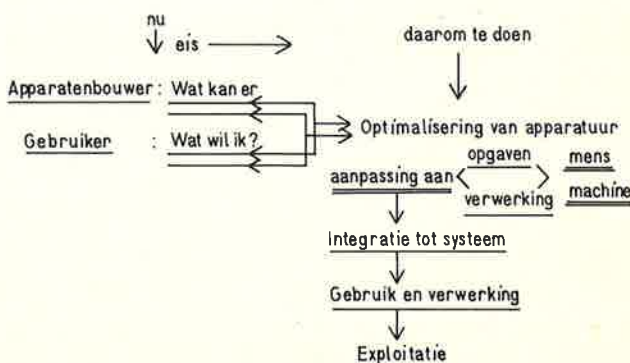


Fig. 1. Probleemstelling.

Equipment	Wavelength band	Output	Registration	Remarks
CAMERA	0,4 - 0,9 μm	film	photographic	Developed systems available
SCANNERS	0,3 - 14 μm	electrical signals	magnetic tape and/or photographic	
Optical line-scan	0,3 - 0,9 μm			
Near IRLS	1 - 3 μm			
Thermal IRLS	3 - 14 μm			
RADAR (SLAR)	0,8 - 50 cm	electrical signals	photographic or magnetic tape	MTI capability Cheap. Expensive ; classified
Non-coherent SLAR	0,8 - 4 cm			
Synth.aperture SLAR	3 - 50 cm			

Fig. 2. Moderne luchtopname-apparatuur.

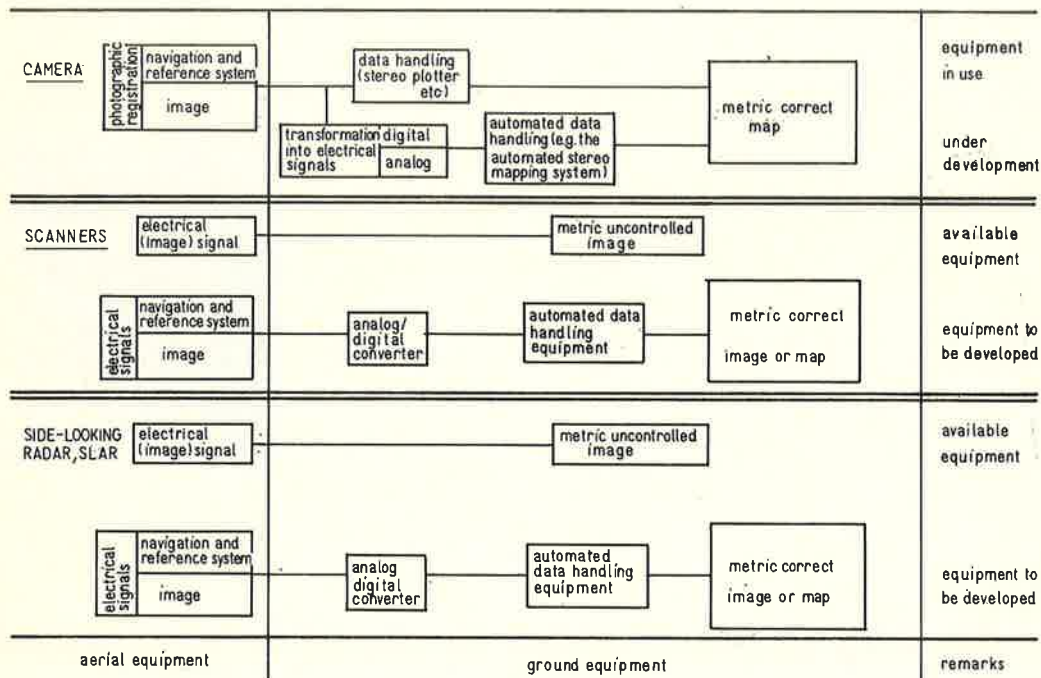


Fig. 3. Overzicht stand automatisering.

hierop aangepaste verwerkingsapparatuur. Kortom: gewerkt zal moeten worden naar een compleet systeem.

Fig. 2 geeft nog eens een overzicht van de reeds in vorige referaten besproken apparaten. Evenals in fig. 3 worden zij gesteld naast de camera. Deze laatste figuur geeft eveneens de status aan van de ontwikkeling van methodieken en systemen.

Voor het operationeel gebruik van de conventionele lucht-fotografie zijn goede methodieken [2, 3] ontwikkeld en heeft men in de laatste jaren ook een hoge mate van automatisering van de verwerking der verkregen gegevens bereikt. Voor de nieuwe opnamesystemen, die onderwerp zijn van dit symposium, kan men echter bepaald nog niet spreken van een weldoordacht operationeel gebruik. Eigenlijk zijn het nog niet veel meer dan 'plaatjesmachines', die het mogelijk maken in andere delen van het elektromagnetisch spectrum waar te nemen.

3. Naar een automatische verwerking

Fig. 4a vat de beschreven situatie samen. Met behulp van een sensor wordt waargenomen in het gewenste deel van het elektro-

magnetisch spectrum. Deze sensor geeft een elektrisch signaal af, dat wordt omgezet in een beeld. Het systeem beschouwend als een 'plaatjesmachine', lijkt het logisch dat wij dit beeld bekijken als een luchtfoto en de hiervoor geldende gevestigde verwerkingstechnieken toepassen.

Hier nu is een vreemde discrepantie ontstaan tussen oude en nieuwe technieken. Waar men bij de conventionele lucht-fotografie zoekt naar methoden om het verkregen beeld om te zetten in een elektrisch signaal om zo te komen tot automatisering der verwerking, wordt voor de scanners en de radarsystemen nog steeds de omgekeerde weg bewandeld. Uit de aard der zaak zijn bij de huidige stand der verwerking dergelijke beelden noodzakelijk, maar juist die elektrische uitgang van de nieuwe systemen noodt tot automatisering. Nu is er van technische zijde al een zekere aandrang in de richting van het directe vastleggen der elektrische beeldsignalen op magneet-band, omdat de praktijk geleerd heeft, dat vastleggen van het beeld op fotografisch materiaal tot informatieverlies leidt, voornamelijk door de beperkte dynamiek (contrastomvang) van de voorhanden zijnde beeldbuis/filmcombinaties. Men geeft er daarom hoe langer hoe meer de voorkeur aan het brute signaal in de lucht op te slaan en pas op de grond het beeld te fabri-