

# Beeldverwerking: vroeger, nu en wat ervan verwacht mag worden

J. Meuleman, Imag-DLO Wageningen

P.O.Box 43, 6700 AA Wageningen. E-mail: j.meuleman@imag.wag-ur.nl

Thema van het VIAS-symposium in mei 1989. Mij is gevraagd een bijdrage te leveren op het gebied van de beeldverwerking met als thema "uit de oude doos", ofwel: hoe was het, wat is ervan geworden en welke ontwikkelingen zijn te verwachten. De situatie midden jaren tachtig en nu zijn veranderd. Karakteristieke verschillen zijn een gevolg van autonome ontwikkelingen, zowel op het gebied van de beeldverwerking als onafhankelijk daarvan. Kort wordt de voortschrijding van de technologie geschetst, gevolgd door een zich daarmee mede ontwikkelend toepassingsgebied.

## Technische ontwikkelingen:

### Van zwart/wit- via kleuren- naar spectraalbeelden:

Toen ik in een van de eerste nummers een bijdrage leverde, werd de beeldverwerking nog gedomineerd door zwart-wit camera's met een spatiele resolutie van 512x512 en een radiometrische resolutie van 8 bits (0-255). Elk beeldpunt representeerde door middel van één grijswaarde de lichtintensiteit. Doordat betaalbare kleurencamera's beschikbaar kwamen, werd de informatie per beeldpunt verdriedovoudigd naar de lichtintensiteit in de rode, groene en blauwe band van het zichtbare spectrum. Momenteel wordt in onderzoek al hyperspectraal gewerkt: elk beeldpunt bestaat uit een serie intensiteiten, waarbij een deel van het spectrum, bijvoorbeeld het zichtbare gebied van grofweg 400 tot 700 nm, opgedeeld is in 300 banden met een breedte van 10 nm.

### Van 286/386 naar Pentium V:

Ook de kracht van de computers is enorm toegenomen. Processoren zijn sneller en krachtiger geworden. Kloksnelheden zijn toegenomen van 16 MHz tot 2.1 GHz: een factor 130 in snelheid. Ook de kracht van het instructieset is beter gewor-

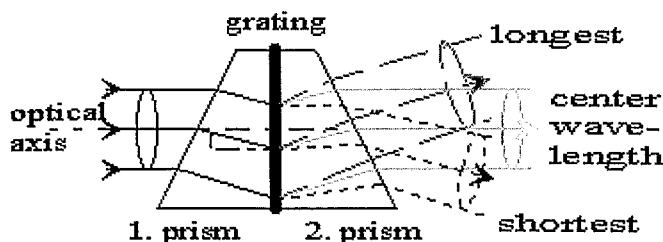
den. Breder busen en aanpassingen in de opbouw van de architectuur hebben daarnaast de snelheid van informatie overdracht sterk doen toenemen: van 1 Mbit/sec naar 130 Mbyte/sec: een factor 1000.

### Uitbreiding van het spectrum:

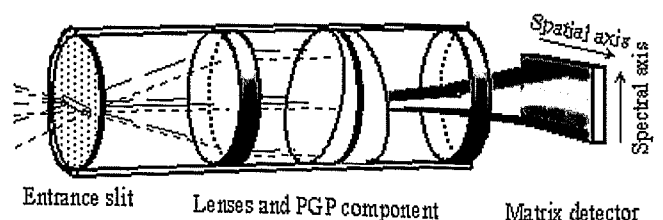
Het deel van het elektromagnetische spectrum waarin beelden gemaakt kunnen worden, is eveneens uitgebreid. Deze ontwikkeling is nog volop gaande. Afgezien van beeldvorming met gamma- en röntgenstraling, NMR-imaging en het golflengtegebied van UV en zichtbaar licht mag er veel verwacht worden van het golflengtegebied tussen zichtbaar en radar. Grofweg het golflengtegebied tussen 750 nm en 3 mm. Miniaturisering van detectoren in het thermische gebied heeft de beschikbaarheid van standaard camera's opgerekt van het zichtbare gebied tot 13500 nanometer. De prijzen zijn nog hoog, maar vertonen een constant karakter, waardoor de betaalbaarheid in de toekomst sterk verbeterd wordt. Ook de nauwkeurigheid, zowel ruimtelijk (van 512x512 naar 2048x2048) als radiometrisch (van 8 bits naar 16 bits per beeldpunt) is aanzienlijk verbeterd. In het gebied tussen licht en radar leveren de bestaande camera's per beeldpunt slechts één beeldwaarde. Verdere uitbreiding van het gebied dat met camera's bestreken kan worden, mag verwacht worden. Er is wel een beperking: de grens van de miniaturisering wordt mede bepaald door de golflengte.

### Van off-line spectroscopie naar on-line imaging:

De ontwikkeling van de afgelopen 5 jaar, waarbij in het zichtbaar en nabij infrarood de spectrale beeldverwerking is ontstaan, zal ongetwijfeld ook invloed hebben op het toepassingsgebied tussen licht en kortgolfige radar. De off-line spectroscopie, een techniek die al tientallen jaren bestaat en waarbij men stapsgewijs door het spectrum gaat, kost veel tijd, zowel wat betreft opnameduur als voorbereiding van het preparaat. Door ook in dit gebied gevoelige camera's



Figuur 1: Het scheiden van licht in meerdere golflengten: een PGP-component. (Bron: Speclm.)



Figuur 2: Een ingebouwd PGP-element. (Bron: Speclm.)

te combineren met prisma's en een tralievenster, wordt een vorm van on-line spectroscopie gecreëerd waarbij elk beeldpunt niet uit één, maar uit een veelheid van beeldwaarden bestaat. Figuur 1 toont het principe om informatie naar golflengten uit te splitsen en figuur 2 toont een ingebouwd prisma-grating-prisma (PGP) element, dat tussen de lens en de camera gemonteerd kan worden. Momenteel zijn deze elementen beschikbaar voor de range van globaal 350 – 1700 nm.

## Ontwikkeling toepassingsgebied

Enkele toepassingsgebieden, ingedeeld naar product of techniek, worden onderstaand belicht.

### Sorteren van planten

Het sorteren van planten kan onderscheiden worden in twee gebieden, namelijk het sorteren aan het begin en tijdens de teelt en het sorteren aan het eind van de teelt. Het sorteren aan het begin en tijdens de teelt is gericht op toename van de uniformiteit binnen groepen planten (onderlinge concurrentie m.b.t. licht en voeding gelijkmatiger), waardoor de groei en ontwikkeling een gelijkmatiger patroon gaat vertonen, de teeltduur verkort kan worden en de kwaliteitsverschillen afnemen. Een betere sturing van groei en ontwikkeling leidt bovendien tot kwaliteitsverhoging. Het sorteren aan het eind van de teelt is gericht op de sierwaarde van het product. Momenteel beschikt een groot deel van de grotere sierteeltbedrijven over sorteerapparatuur met capaciteiten van 3.000 tot 6.000 planten per uur.

### Een oogstrobot voor vruchtgewassen

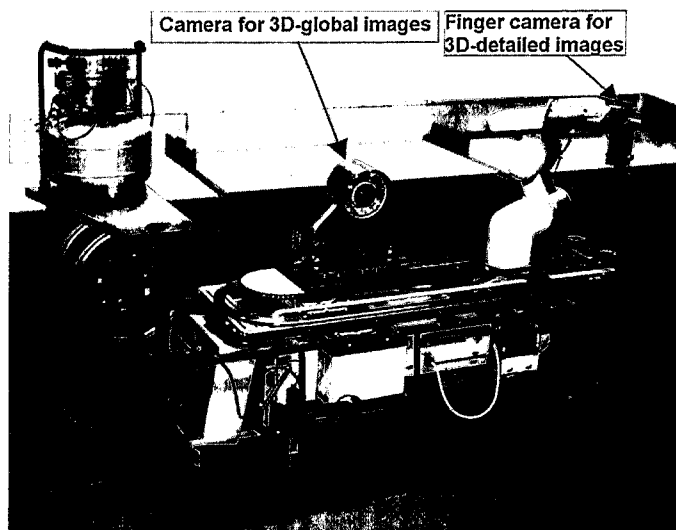
Het geautomatiseerd oogsten van vruchten zoals komkommers, paprika's en tomaten wordt in de toekomst belangrijk in verband met toenemende kosten van arbeid en de beschikbaarheid van arbeid. Sinds 1996 ondersteunt het Ministerie van LNV een project voor de ontwikkeling van gerobotiseerde oogst. Beeldverwerking functioneert hierbij als "ogen" van de robot, waarbij de vruchten in de 3D ruimte gevonden kunnen worden en de positie ervan in 3 dimensies bepaald wordt. Met een specifiek gebouwd camerasysteem kan onderscheid gemaakt worden tussen vruchten, bladeren en overige delen, zoals stengels, opbindtouw, constructiedelen van de kas en andere obstakels. Op basis van de beeldinformatie vindt de padplanning van de robot plaats, zodanig dat bladeren en obstakels vermeden worden. De robot is op een wagen gemonteerd, die autonoom over het buis-rail systeem rijdt.

### Een robot voor het verrichten van bewerkingen aan planten

Het verrichten van bewerkingen aan (pot)planten door een robot op basis van 3D-beeldverwerking is onderdeel van het lopend onderzoek. Voorlopig is het project gericht op eenvoudige bewerkingen, zoals het plukken van stekgoed, waarbij verdere ontwikkeling van de "ogen" van de robot meer centraal staat dan de ontwikkeling van de actuatoren waarmee de bewerkingen moeten worden uitgevoerd.

### Post-harvest kwaliteitsinspectie

Het ontwikkelen van systemen voor kwaliteitsinspectie is een belangrijk onderdeel binnen zowel de primaire landbouw als



Figuur 3: De oogstrobot op een wagen in het ontwikkelingslaboratorium. (Bron: IMAG)

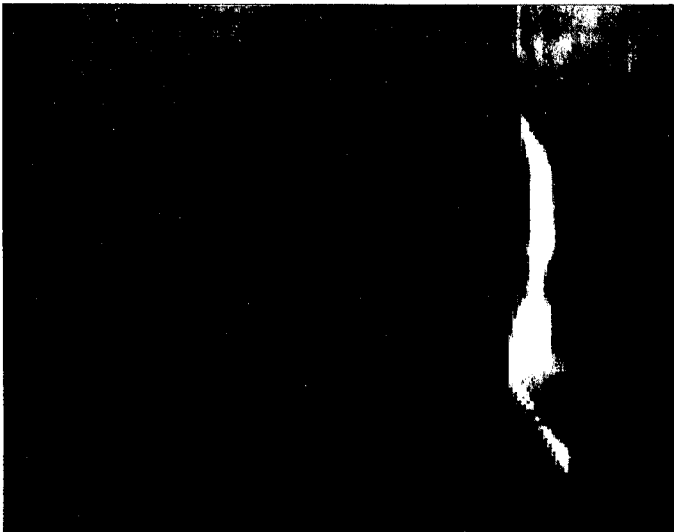
bij de voedingsmiddelen industrie. Hierbij wordt gebruik gemaakt van RGB-kleuren camera's indien op kleurkenmerken geïnspecteerd of gesorteerd moet worden of wordt gebruik gemaakt van 2D-vorm analyse indien op vormkenmerken gediscrimineerd moet worden. Ook 3D vormanalyse, gebaseerd op laser triangulatie technieken, behoren tot de toepassingen. Voor de 3D laser triangulatie bestaan speciale snelle camera's. Hierbij kan een vrucht bijvoorbeeld geïnspecteerd worden op vorm, maar ook op oppervlaktetextuur. Tijdens de rijping van een vrucht verandert vaak niet alleen de kleur aan de oppervlakte, maar ook vaak de textuur.

### Oogstmonitoring

In het kader van precisielandbouw wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om on-line producthoeveelheid en productkwaliteit te meten. Naast de plaatsafhankelijke opbrengstmeting en tarra meting is zo'n systeem op bijvoorbeeld een aardappelrooier ook interessant om de kwaliteit van het oogstproces te verbeteren. Zo kan bijvoorbeeld de verhouding product en grond opgenomen worden in een regelkring om daarmee de snelheid van zeeftettingen en/of de rijpsnelheid te regelen, waardoor de kans op productbeschadiging vermindert wordt.

### Een nieuw toepassingsdomein: spectrale beeldverwerking

Een RGB-kleuren camera levert 3 beelden: één beeld in de blauwe band, één in de groene band en één in de rode band. Gedreven door grote toepassingsgebieden (TV, film, video) is deze techniek ontwikkeld, waarbij de norm is afgeleid van het menselijk perceptievermogen, de ooggevoeligheid. Het menselijk oog is echter slecht in het vaststellen van de juiste kleur en moet gezien worden als een meer kwalitatieve dan kwantitatieve sensor, zowel in het spatiele domein (de tafelhoogte is ongeveer 70 cm, maar gemeten met een centimeter of via beeldverwerking 71.3 cm) als in het radiometrische domein (een rijpe tomaat heeft een rode kleur). Tijdens de rijping van een tomaat vindt afbraak van chlorophyll, verantwoordelijk voor de groene kleur van de onrijpe tomaat, en worden lycopenen gevormd, waardoor de tomaat de rode kleur krijgt. Met een



Figuur 4: een thermisch beeld van twee poten van een dier. (Bron: FSI)

nauwkeurige spectrale meting kan dit proces gevolgd worden en de status van het rijpingsproces kwantitatief vastgelegd worden. Ook de beschikbaarheid van nutriënten leidt tot kleine kleurveranderingen die nauwelijks voor het oog waarneembaar zijn, maar goed kwantitatief zijn vast te stellen. Hierbij kan gedacht worden aan de N-voorziening van gewassen (N-gebrek leidt tot een verandering in de absorptiegedrag van chlorophyll, evenals waterstress). Ook de K-bemesting bij aardappelen vertaalt zich enerzijds in een afname van de beschadiginggevoeligheid maar ook in een kleurverandering van de plant. Hetzelfde geldt voor P als bemestingscomponent. Alleen een getraind expert kan gebreksziekten waarnemen aan de hand van de kleur van het gewas. Echter: op het moment dat het zich openbaart in waarneembare kleurveranderingen is reeds aanzienlijke schade ontstaan.

Binnen de voedingsmiddelen industrie kunnen bijvoorbeeld plastic deeltjes in gehakt (of hamburger) onderscheiden worden van vetdeeltjes dankzij spectrale informatie. Het bepalen van eiwit-, vet- en vochtgehalte, etc. komt in zicht door toepassing van nauwkeurige spectrale beeldverwerking. Hierbij moet duidelijk aangetekend worden dat de spectrale technieken niet beperkt moeten worden tot het zichtbare deel van het spectrum. Daarbuiten zit meer informatie, ook voor de detectie van ziekten en plagen.

## Overige toepassingen

Naast genoemde toepassingen zijn er veel initiatieven waarbij de beeldverwerking een belangrijke rol speelt. Het voert te ver deze allemaal te noemen. Gebieden, niet boven genoemd, waarop komende jaren aandacht besteed wordt zijn o.a. milieugericht, zoals het meten aan spuitniveaus om de chemische luchtverontreiniging door drift bij de chemische gewasbescherming terug te dringen. Ook op het gebied van diermonitoren en diergezondheid liggen nog volop kansen. Zo toont figuur 4 een thermisch beeld van de poten van een dier met een afwijkend temperatuurpatroon. Het beeld is genomen met een camera die gevoelig is in het gebied van 8.000 – 12.000 nm.

## AGRIVISION

Sinds dit jaar zijn de activiteiten op het gebied van de beeldverwerking in Wageningen gebundeld en ondergebracht in een samenwerkingsverband onder de naam AgriVision: een samenwerkingsverband van ATO, IMAG en Plant Research International. Agrivision is een expertise centrum voor beeldverwerking in de agro- en foodindustrie, een onderdeel van Wageningen-UR met een centraal loket voor het afstemmen van vragen vanuit de markt en beschikbare expertise in Wageningen. Het versterkt de kennisinfrastructuur rond de beeldverwerking en is een platform voor de ontwikkeling van nieuwe terreinen en initiatieven binnen de beeldverwerking. Bundeling van kennis en ervaring is belangrijk om op efficiënte wijze te kunnen voorzien in de behoefte aan beeldverwerking op een breed gebied: de hele verticale keten van primaire productie tot voeding zoals aangeboden door winkelketens. Hoewel de verschillende samenwerkende instellingen in hun taakstelling gericht zijn op een specifiek deel van deze verticale kolom (bijvoorbeeld IMAG is meer gericht op de primaire productie en ATO meer op food), de behoefte aan techniek vertoont grote overlap gebieden. Een gezamenlijke verankering in fundamenteel onderzoek maakt het ontsluiten van nieuwe toepassingsgebieden goedkoper en efficiënter.

Ten slotte het centrale loket:

AgriVision

P.O.Box 17, NL-6700 AA Wageningen, The Netherlands

Telephone: +31 317 478558 Fax: +31 317 475347

E-mail: AgriVision@ato.wag-ur.nl