

De glazen patiënt: moderne ontwikkelingen in de biomedische beeldtechnieken

Citation for published version (APA):

Haar Romeny, ter, B. M. (2004). De glazen patiënt: moderne ontwikkelingen in de biomedische beeldtechnieken. In *Dies natalis 2004 Technische Universiteit Eindhoven 23 april 2004: Thema 'Imaging'* (blz. 21-36). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/2004

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

De Glazen Patiënt

Bart M. ter Haar Romeny

*Meneer de Rector Magnificus,
zeer gewaardeerde toehoorders,*

Vandaag vieren we de dies van de Technische Universiteit Eindhoven. Het is gebruikelijk dat één van de zittende hoogleraren wordt uitgenodigd een visie op zijn vakgebied te geven. Het wordt door mij als een bijzondere eer beschouwd dat mij deze gunst ten deel valt.

Mijn vakgebied is de Biomedische Beeldanalyse. Ik zal u in de komende 50 minuten vertellen over ontwikkelingen in dit vakgebied [1], welk onderzoek we in Eindhoven doen, met wie we nationaal en internationaal samenwerken, hoe we er ingenieurs in opleiden en waar ik denk dat het vak heen zal gaan.

Beelden spelen een essentiële rol in de medische wetenschappen. Vooral belangrijk zijn de mogelijkheden, om zonder de patiënt te openen, elke plek in het menselijk lichaam te kunnen afbeelden. De patiënt lijkt geheel transparant te zijn geworden, zoals de titel van deze rede aangeeft. Vrijwel alle fysische parameters om zulke beelden te maken worden benut. 80% van alle diagnoses worden gemaakt op grond van beeldinformatie.

De afbeeldingstechnieken

In 1895 is door professor Röntgen een 'bijzonder soort stralen' uitgevonden. Artsen konden voor het eerst letterlijk door de patiënt heen kijken. Deze uitvinding staat nu als één der grootste medische uitvindingen te boek. Hij ontving hiervoor in 1901 de Nobelprijs in de Geneeskunde. Diverse andere beeldvormende technieken werden ontwikkeld, zoals de echografie (gebaseerd op reflecties van ultrageluid in het lichaam) en de nucleaire geneeskunde (gebaseerd op het afbeelden van radioactief gemaakte geneesmiddelen, die zich op een specifieke plek ophopen in het lichaam).

De Röntgenfoto kende één specifiek probleem: alles is over elkaar heen geprojecteerd. Begin 70-er jaren werd door Hounsfield ontdekt dat een beeld van een anatomische 'plak' van een patiënt gereconstrueerd kan worden uit metingen van Röntgenbundels in vele richtingen door dat vlak. Dat leidde tot de Computer Tomografie (CT) scanner, waarmee

men ook nog betere contrasten (kleine verschillen tussen weefsels) kon zien dan op de 'klassieke' Röntgenfoto's. Hij ontving voor deze doorbraak in 1979 de Nobelprijs.

Röntgenstraling is ioniserend en kan gevaarlijk zijn voor de mens. Begin 70'er jaren werd door Lauterbur, Mansfield en Damadian ontdekt dat het al sinds de jaren '40 bekende principe van 'magnetische resonantie' gebruikt kon worden om afbeeldingen te maken van het binnenste van de mens. In een grote magneet, met een veldsterkte van 0,5 tot 3 Tesla (10.000 tot 60.000 keer de sterkte van het aardmagnetisch veld) gaan de waterstofmoleculen in het lichaam (we bestaan voor 63% uit waterstof-atomen) zich gedragen als kleine magneetjes, die met externe spoelen gemanipuleerd kunnen worden. Hierbij worden radiogolven uitgezonden die door antennes rond de patiënt worden opgevangen. Hieruit wordt het beeld berekend. Het vlak van de 'plak' kan in elke willekeurige richting worden gekozen. In 2003 is aan Lauterbur en Mansfield de Nobelprijs in de Geneeskunde toegekend.

Als belangrijke pionier van deze technologie moeten we zeker dr. Luyten noemen, die bij Philips Medical Systems in Best een van de eerste MRI-scanners maakte. Philips is nu technologisch één van de wereldmarktleiders in deze zeer belangrijke afbeeldingstechniek. Op dit moment staan er over de hele wereld verspreid ongeveer 22.000 MRI-scanners, die jaarlijks zo'n 60 miljoen scans maken.

MRI is vooral goed in het afbeelden van zachte weefsels. De techniek is heel veelzijdig: men kan de elektronische scaninstellingen optimaliseren voor de contrasten tussen bepaalde weefsels en men kan spectroscopische opnamen maken, gebaseerd op de verschillen in frequenties tussen de verschillende elementen waterstof, zuurstof, fluor, fosfor etc. om te zien hoeveel er van bepaalde stoffen aanwezig is. Zo kan men niet alleen de anatomie, maar ook de functionele activiteit van het weefsel afbeelden. Hiermee kan men de stofwisseling in beeld brengen en de effectiviteit van kankerbestraling meten.

Ook kunnen we met 'functionele MRI' zien waar de hersenen actief zijn. Door de activiteit van het hersenweefsel is ter plekke iets meer bloed nodig. Dit kan een MRI scanner meten. Dit is van belang voor fundamenteel hersenonderzoek en bij de planning van complexe

herseneroperaties.

Functionele activiteit van orgaanweefsel en relativiteit wordt ook gemeten door de opname te meten van radioactief gemaakte geneesmiddelen. Dit is het vakgebied van de Nucleaire Geneeskunde.

Toepassingsgebieden zijn de oncologie, hart imaging, orgaanfunctie en stofwisseling. Vooral PET (Positron Emissie Tomografie) is sterk in opkomst. De gevoeligheid om kleine concentraties van de toegediende 'tracer' te kunnen lokaliseren maakt het een zeer succesvolle techniek voor de vroege diagnostiek van kanker. De ruimtelijke resolutie is gering, maar dit kan worden opgelost door de PET scanner te combineren met een CT-scanner. Dit is op dit moment de snelst groeiende afbeeldingsmodaliteit.

Recentelijk heeft de CT weer een inhaalslag gemaakt door de introductie van meerdere detectorarrays waarbij 4, 8, 16 en zelfs 64 beelden per omwenteling in ongeveer 1/3 tot 1 seconde kunnen worden gemaakt. Alle nu geïnstalleerde scanners in Nederland behoren tot deze generatie 'multi-slice' of volume-CT'-scanners.

Ook met ultrasound kan men nu in 3D hoge kwaliteit opnamen maken, o.a. door de ontwikkeling van geavanceerde oppervlakte-transducers. Toepassingen zijn vooral gericht op de gynaecologie en onderzoek aan bloedvaten.

De chirurgie maakt steeds meer gebruik van de beeldinformatie op de operatiekamer zelf. Image Guided Surgery is een apart groot vakgebied geworden. Vele positioneringshandelingen (plaatsen van protheses, biopsienaalden, boren van schroeven etc.) gebeuren nu met directe terugkoppeling van de informatie over de positie in de beelden van de patiënt. In diverse klinieken wereldwijd wordt geëxperimenteerd met geavanceerde visualisatie en presentatiemethoden, waarbij de chirurg letterlijk een transparante patiënt kan zien tijdens het opereren.



Enorme commerciële markt

Niet alleen vanuit onderzoeksperspectief is dit vakgebied in een stroomversnelling geraakt. Het gaat ook om een enorme commerciële markt. Eén derde van alle investeringen voor apparatuur in een modern Westers ziekenhuis is ten behoeve van beeldvormende apparatuur. In 2002 is in de VS een omzet van 9,6 miljard dollar gemaakt in deze markt. De wereldcongressen voor Radiologie zijn groot: het jaarcongres van de Radiological Society of North America (RSNA) in Chicago telde vorig jaar 65.000 bezoekers, het European Congress of Radiology (ECR) in Wenen trok dit jaar 13.800 bezoekers. Deze conferenties zijn combinaties van wetenschappelijke voordrachten en een industriële beurs, waar fabrikanten hun laatste ontwikkelingen tonen. Bij de ECR ben ik lid van het Program Planning Committee.

De digitalisering is vrijwel compleet. In Nederland worden meer dan 75% van alle beelden digitaal gemaakt, bewaard en geanalyseerd. Een gemiddeld ziekenhuis produceert daarbij tientallen Terabytes (Tera= 10^{12}) per jaar, die bij wet 10 jaar moeten worden bewaard. De DICOM beeldstandaard maakt het mogelijk om de beeldvormende apparatuur, de archieven, het netwerk en beeldstations aan elkaar te koppelen tot een groot en complex beeldinformatica-systeem. Zo'n 'PACS' (Picture Archiving & Communication System) is gekoppeld aan het centrale Ziekenhuis Informatie Systeem. De beeldstations in dit netwerk vormen de 'digitale lichtkasten', waarop de diagnose wordt gedaan. Moderne beeldstations zijn de super-assistent van de radioloog. In deze functionaliteit ligt de kern van mijn vakgebied, de (bio-) medische beeldanalyse.

Waarom beeldanalyse?

De stroom beelden is overweldigend en men heeft steeds meer vragen bij de beelden. Een opname bestaat vaak uit vele honderden plakken. Het wordt kostbaar deze allemaal minutieus te bestuderen. Daarnaast neemt de productie van diagnostische beelden toe door de introductie van screeningsprogramma's, in eerste instantie voor de vier meest voorkomende kankertypen: borstkanker, longkanker, prostaatcancer en dikkedarmkanker. Computerondersteunde diagnose is sterk in opkomst. Veel nieuwe firma's verschijnen op de markt met het keurmerk van de Amerikaanse Food & Drug Administration. Alle grote medical imaging firma's hebben ontwikkelingen op dit gebied. Het goud en de wetenschappelijke uitdaging zit in de effectiviteit van de algoritmes en hier vinden we onze 'core business'.

Er is behoefte aan beeldanalyse-ingenieurs. De afgelopen jaren zijn op diverse plaatsen in Europa grote klinische beeldresearchgroepen ontstaan, waarbij 15-30 ingenieurs / doctorandi nieuwe methoden ontwerpen voor diagnostiek en therapie. Voorbeelden zijn UMC Utrecht, UMC Leiden, Kath. Univ. Leuven, University College London, Universiteit Bremen, Universiteit Wenen, INRIA Nice etc. In Eindhoven/Maastricht wordt de Mastertrack 'Biomedical Imaging & Modelling' gevormd door Biomedical Magnetic Resonance [Nicolay, van Engelshoven, Kopinga], Vital Imaging [Slaaf, Nicolay], Clinical Imaging [van Engelshoven, ter Haar Romeny], Image Analysis [ter Haar Romeny, Florack], Biomodeling and Informatics [Hilbers], Biosignals and Regulation [van den Bosch, Oeij, Wagenmakers, Hilbers] en Neurophysics [Kingma, Hilbers].

Fig. 2. Medisch beeldstation in BioMIM lab in Whoog.



1. Klinische samenwerking

De faculteit BMT werkt nauw samen met het Academisch Ziekenhuis in Maastricht (AZM). Diverse TU/e-hoogleraren, waaronder ikzelf, zijn benoemd als hoogleraar bij de faculteit Geneeskunde, zodat we toegang hebben tot de klinische data, het 'ius promovendi' hebben en deel uitmaken van de wetenschappelijke staf.

In samenwerking met AZM-radiologie wordt aderverkalking in de halslagader onderzocht met multispectrale MRI. De halslagader van de patiënt wordt met vijf verschillende MRI technieken gescand. Wij classificeren de weefsels met statistische patroonherkenningstechnieken en met neurale netwerken (Hofman, ten Eikelder). In een reeks stage projecten pogen we de moeilijk zichtbare Adamkiewicz arterie in 3D MRI data op te sporen t.b.v. de reconstructieve chirurgie van aorta-uitstulpingen. Fouten in het heraansluiten van dit kleine vat van aorta naar ruggermerg zou een ernstige verlamming kunnen veroorzaken.

We werken nauw samen met Philips Medical Systems (PMS). Professor Gerritsen van Philips Medical Systems (Medical Information Technology) is benoemd als BMT deeltijdhoogleraar. Eén van de samenwerkingsprojecten beoogt een optimale kwaliteitsmaat te vinden voor de 3D-visualisatie van structuren in CT en MRI. Daarnaast lopen projecten met Philips voor computerondersteunde diagnose van bloedvatlijden in de longen, het selecteren van de juiste vaten voor CT-herendoorbloedingsmetingen en het automatisch vinden van de longcontouren in CT-datasets. Met BMT deeltijdhoogleraar professor Oei van het Máxima Medisch Centrum werken we samen op het gebied van kwantitatieve metingen aan de foetus met 3D ultrasound.



Fig. 3. 3D volume rendering van de kransslagaders rond het hart (Philips Medical Systems).



Fig. 4. Virtuele endoscopie van CT opnames van de met lucht gevulde dikke darm (A. Vilanova).

2. Visualisatie

De techniek van de 3D-visualisatie is nu algemeen bekend en beschikbaar. Moderne klinische werkstations bieden vele vormen van visualisatie, zoals het laten zien van structuren in drie dimensies, het afbeelden van vlakken in elke willekeurige richting, maximum intensiteit projecties met interactieve manipulatie van deze beelden en het meten erin. De visualisatiesectie binnen de groep staat onder leiding van dr. Vilanova í Bartrolí.



Fig. 5. Virtuele colonoscopy: uitgevouwen wand van de dikke darm t.b.v. het vroegtijdig opsporen van poliepen (A. Vilanova).



Fig. 6. Diffusie tensor imaging van het brein.

Een nieuwe vorm van data dient zich aan: multi-spectrale beelden, waarbij een pixel of voxel complexe data bevat, zoals een reeks van verschillende fysische metingen, combinaties van anatomische en functionele data (molecular imaging, zie hiernaast), een complete matrix en/of tensor per voxel. Hiervoor ontwikkelen we nieuwe visualisatietechnieken.

Een belangrijk project is Diffusie Tensor Imaging (DTI) van de zenuwbundels in het brein en spierbundels in de hartwand. Gedurende de random verplaatsingen door diffusie volgen de watermoleculen weefselstructuur op de microscopische schaal. Wiskundig wordt dit beschreven met een 'diffusie tensor'. Deze kan gemeten worden met MRI en geeft informatie over de lokale hoofdrichting van de bundels. De metingen worden gedaan in het Máxima Medisch Centrum (o.a. ten behoeve van pasgeborenen onderzoek) en het Biomedische NMR-Laboratorium. In een BMT-afstudeerproject is een interactief 3D visualisatieprogramma ontwikkeld voor deze tensorbeelden, waarmee de aparte vezelbundels kunnen worden bestudeerd.

Ook de 2-foton fluorescentiemicroscopie van de Vital Imaging groep in Maastricht (van Zandvoort, Slaaf) levert multi-spectrale beelden. Er is een aparte 'microscopie groep' van BMT-afstudeerders gevormd, waarin de volgende onderwerpen worden onderzocht:

- vorm analyse van vetophoping in spieren bij suikerziektepatiënten;
- kwantificeren van elastine in slagaders van de muis;
- kwantitatieve analyse van vaatwand remodellering van slagaders.

3. Molecular Imaging

Een zeer veelbelovende ontwikkeling is Molecular Imaging. Door de baanbrekende mogelijkheden van de moderne moleculaire biochemie kunnen hele specifieke contrastmiddelen worden gemaakt, die al bij zeer geringe concentraties processen zichtbaar kunnen maken die voorheen ontoegankelijk waren. Oorspronkelijk voorbehouden aan radioactieve tracers (PET, SPECT) komt nu een nieuwe generatie functioneel bindende moleculen als tracer in zicht. De vroege detectie van kanker op het niveau van een enkele cel komt binnen handbereik. Hiermee wordt integratie van *anatomische* (de echte beelden van de anatomie) en *functionele* (de informatie over functies van het weefsel) scans een realiteit. Het is moleculaire chemie en imaging samen. De tracer moleculen kunnen gemerkt worden met een in de MRI of microscoop zichtbare 'vlag', of zelfs met een nano-zakje met chemotherapie, die dan precies op de juiste plaats kan worden afgegeven ('smart bombs'). Moleculaire diagnostiek en therapie gebaseerd op iemands individuele genetische en actuele conditie is te voorzien. Op de grote radiologie congressen

nemen sessies over molecular imaging een steeds geprononceerdere plaats in. De biofarmaceutische industrie is één van de grootste life-sciences groeimarkten van dit moment.

De Universiteit van Maastricht, de Technische Universiteit Eindhoven, Philips en Organon hebben een unieke expertiseketen voor het doen van onderzoek op Molecular Imaging:

- expertise om de complexe contrastmiddelen, bijv. op basis van grote boom-vormige moleculen (dendrimeren), te maken;
- expertise om deze met hoogveld MRI te meten in experimentele dieren;
- farmacologische expertise;
- fluorescentie microscoop expertise;
- expertise voor kwantitatieve beeldanalyse en visualisatie.

De ingediende subsidieaanvraag bij het nationale kennisinvesteringsprogramma BSIK voor molecular imaging onderzoek naar zuurstoftekort van het hart is onlangs in zijn geheel toegekend aan dit consortium (11,2 miljoen Euro), waardoor een sterke kritische massa is ontstaan.

Onder leiding van professor Van de Vosse en professor Jacobs wordt in Maastricht het project 'Hoogwaardige Cardiovasculaire Interventie Technologie' geformuleerd voor geavanceerde BMT-ondersteunde chirurgie van o.a. aneurysmata (uitstulpingen) in de aorta. Dit is een uiterst complexe operatie, waarbij cardiovasculaire modelvorming, weefselmechanica en geavanceerde interactieve visualisatie aan bod komen. Maastricht is hierin gespecialiseerd en BMT heeft juist alle benodigde expertise.

4. Fundamenteel onderzoek

Beeld Analyse is de naam van het vakgebied dat algoritmes ontwikkelt op grond van een door een arts of onderzoeker gespecificeerde taak. Het omvat vele onderwerpen, zoals patroonherkenning, vormanalyse, diepte- en bewegingsanalyse, segmentatie, etc.

Ons fundamentele onderzoek focuseert op multi-resolutie beeldverwerking. We hebben ervoor gekozen eerst een solide fundamentele basis te bouwen in onze jonge groep. Op dit moment zijn hierin vier AIO's actief, onder dagelijkse supervisie van UHD dr. Florack. Ik zal dit fundamentele onderzoek wat uitgebreider bespreken omdat het onze visie op de ontwikkelingen in dit vakgebied goed weergeeft.

Het is notoir moeilijk om beeldanalysetaken om te zetten in geschikte

en efficiënte algoritmes. Voor segmentatie zijn er zeer veel technieken ontwikkeld, vrijwel allemaal voor een specifieke taak. Het is van groot belang een *generieke toolbox* te hebben. Inspiratie komt uit de wiskunde, fysische modellen en uit studies van het menselijk visueel systeem.

Wiskunde: Beelden zijn discrete data en om kenmerken te vinden is differentiëren tot hoge orde vaak noodzakelijk. Dit is niet triviaal. Met 'first principles' (axioma's) werden diverse elegante afleidingen gevonden voor *geschaalde* afgeleide operatoren, die zeer robuust bleken in de praktijk. Deze operatoren waren door de wiskundige Schwartz al in de jaren '50 ontdekt, waarvoor hij de Fields Medal ontving, de hoogste prijs in de wiskunde. Beeldanalyse is een science geworden die gebruik maakt van differentiaalgeometrie, tensorrekening, wavelet theorie, lineaire algebra etc. We onderzoeken met principale componentenanalyse de 3D vorm variabiliteit van het muizenhart waarin een gecontroleerd infarct is aangebracht (i.s.m. Biomedische NMR), en ontwerpen algoritmes voor computer-ondersteunde diagnose van mammogrammen (i.s.m. met de Universiteit van Nijmegen).

Het begrip resolutie of schaal komt in veel wiskundige beeldverwerkingstechnieken terug. Deze 'schaalruimtetheorie' ziet inmiddels brede internationale navolging. Echter, een rigoreuze theorie om deze essentiële vrijheidsgraad goed te exploiteren ontbreekt nog. Het is één van de speerpunten van het fundamentele onderzoek in onze groep om hier een adequate theorie voor te ontwikkelen [4]. Door dr. Florack is hiervoor onlangs een VICI aanvraag ingediend in het kader van de Vernieuwingsimpuls.

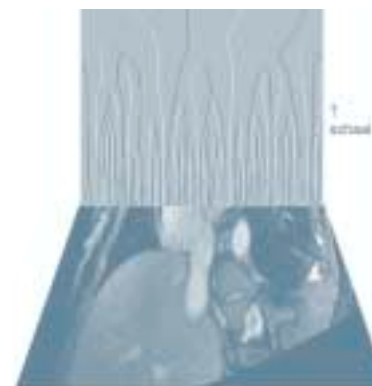


Fig. 7. Multi-schaalsegmentatie met behulp van de multi-resolutiestructuur van het beeld. Bodem: MRI van de aorta. Van één beeldlijn is de schaalruimte berekend (in werkelijkheid berekend men de schaalruimte van het hele beeld). Bij afnemende resolutie verdwijnt steeds meer structuur, zoals bijvoorbeeld het aantal maxima en minima. 'Belangrijke' structuren blijven lang bestaan. We kunnen deze weer terug projecteren naar het niveau van fijne resolutie en zo randen vinden.

We participeren in het EU vijfde kader project ‘Deep Structure and Scale in Computer Vision’ (twee AIO’s). Dit onderzoek betreft het extraheren van de *hiërarchische* beeldstructuur (‘graaf’) van een beeld door middel van onderzoek naar bijzondere punten (‘toppunten’) in de multi-resolutiestructuur. Uit deze toppunten blijkt het beeld zelf weer bij benadering te reconstrueren. Hiermee ontstaan veelbelovende mogelijkheden voor het herkennen en terugzoeken van beelden en scènes uit databases, en efficiënte beeldcodering.

Deze laatste techniek wordt gebruikt in een lopend IOP AIO project met Océ, ‘Intelligent Scanners’ t.b.v. het herkennen van logo’s in documenten. Met Philips Research bestuderen we in een afstudeerproject de analyse van bewegingen van objecten in videosequenties met behulp van dynamische analyse van de toppunten. Een gezamenlijke subsidieaanvraag is in voorbereiding. Deze techniek ontwikkelen we ook t.b.v. dynamische studies van processen in de cel in het nieuwe programma ‘Molecular Imaging’.

Visueel systeem: de analyse- en patroonherkennings eigenschappen van het menselijk visueel systeem zijn ongeëvenaard. Het zou fantastisch zijn als we dit systeem konden nabouwen en de zo ontstane computer algoritmen toepassen bij de computer-ondersteunde diagnose en medische beeldanalyse: *biomimicking*. Het visueel systeem is het meest uitgebreid onderzochte deel van onze hersenen, met name de eerste stadia (het ‘front-end’). Een recent verschenen boek van mijn hand [2] is een tutorial in biologisch geïnspireerde multi-schaal computervisiontheorie. Het TU/e-keuzecollege met dezelfde naam is een populair college, waar AIO’s uit het hele land op afkomen.

Een kleine greep uit de visuele inspiratiebronnen:

- Het netvlies blijkt een multi-resolutie camera te zijn: er gaat een ‘stapel’ van multi-resolutie beelden naar de hersenen.
- De oogzenuw projecteert naar het visuele brein in ons achterhoofd. Daar worden cellen gevonden die te interpreteren zijn als operatoren die afgeleides nemen van het beeld tot de 4^e orde, op vele schalen en op alle oriëntaties.
- De cortex is een zelforganiserend systeem. Veel structuren van ons visuele brein worden pas gevormd ná de geboorte door te zien. Zo blijken de differentiërende cellen afgeleid te kunnen worden uit een ‘principale componentenanalyse’ van kleine beeldfragmenten.

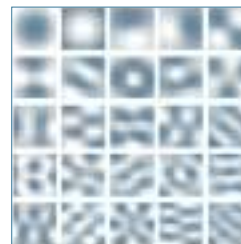
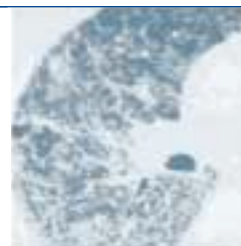


Fig. 9. Zelforganisatie: Principale componenten van beeldfragmenten van een CT slice van de longen. Dit is een goede basis voor de analyse van longweefsel ten behoeve van computer-ondersteunde diagnose.

- De terugkoppelingen in het visuele brein inspireerde tot complexe filters om beelden ‘op te schonen’. Dit heeft geleid tot sterke interesse van wiskundigen. Ik was van 1994-1996 projectcoördinator van een EU-NSF gesubsidieerd consortium op dit gebied. Professor Mumford, Fields Medal winner in 1974, was onder de deelnemers. Er is hierover door mij een boek samengesteld [3] dat populair is geworden in het veld.
- Het blijkt dat het visuele brein extreem nauwkeurig is georganiseerd in ‘hyperkolommen’, met oriëntatie filters in een soort spaakwiel structuur. De kolommen blijken op een speciale manier met elkaar verbonden. Dit lijkt een voortreffelijk wiskundig model voor context-gevoelige filters. Dit benutten we in twee promotie onderzoeken en een afstudeerproject i.s.m. Philips Medical Systems en Eurandom t.b.v. het vinden van catheters en bloedvaten in beelden.

We gaan op dit veelbelovende gebied van ‘biologisch afkijken t.b.v. diagnose algoritmen’ samenwerken met professor Fitzpatrick in Duke University, en we zullen participeren in het recent opgerichte Neuro-informatica platform.

De belangstelling voor dit nieuwe vakgebied neemt toe. De tweejaarlijkse serie internationale conferenties ‘Scale-Space Theory in Computer Vision’ is door ons in 1997 geïnitieerd, en trekt elke keer een groter aantal deelnemers.

Onderwijs

We hebben de afgelopen jaren de studenten laten meebouwen aan onze prototyping toolkit ‘MathVisionTools’, als opstap voor toekomstige grotere projecten. Voorbeelden van recent afstudeerwerk zijn o.a. bewegingsanalyse van de bewegende hartwand om infarcten te lokaliseren, segmentatie en visualisatie van 3D datasets van de ‘Visible Mouse’ (met het Biomedisch NMR Lab), beeldherkenning en zoeken in beelddata-banken, bewegingsanalyse van videosequenties (met Philips Research) en visualisatie en geometrische analyse van MRI diffusie-tensor beelden (BMT, met TU/e Technische Wiskunde).

We hebben voor de visualisatiesoftware gekozen voor C++, VTK/ITK en OpenGL omdat dit nauw aansluit bij de ontwikkelingen binnen Philips Medical Systems. Voor het ontwerpen (‘rapid prototyping’) van algoritmes is gekozen voor Mathematica (ondersteund door

Quo vadis?

Fig. 10. Bewegingsvectoren in de hartwand, MR tagging (Suinesiaputra, TU/e & UMC Leiden).



Dipl.-Ing. Van Almsick). Deze moderne ontwerptaal, gebaseerd op functioneel programmeren, is zowel symbolisch als numeriek uiterst krachtig, en kent een snelle leercurve. Het is mogelijk de wetenschappelijke rapportage efficiënt te integreren met de code. Alle 'ontwerpge-stuurdonderwijs'-projecten worden in Mathematica uitgevoerd. Het eerder genoemde boek "Front-End Vision" is geheel geschreven in Mathematica, waardoor alle code direct als 'template' gebruikt kan worden. Studenten met een verouderde laptop kunnen remote-kernels starten op een aantal speciale krachtige servers in het netwerk.

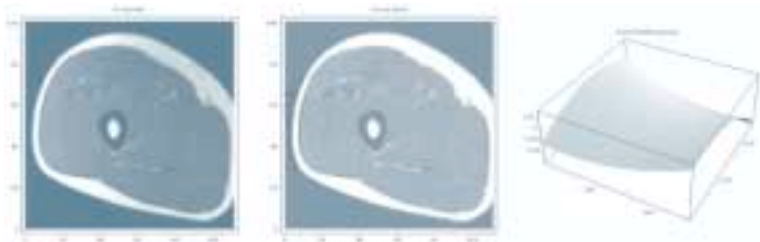


Fig. 11. Automatische correctie voor de spoelgevoeligheid bij MRI met behulp van entropie minimalisatie (Sonnemans, BMT).

Nieuwe ogen zullen de radioloog assisteren. De ontwikkeling van biologisch geïnspireerde algoritmes lijkt erg veelbelovend voor computer-ondersteunde diagnose. De grote beeld databanken die nu in ziekenhuizen worden aangelegd, vormen de perfecte bron voor algoritme ontwikkeling door datamining en zelflerende principes. De kracht van moderne grafische kaarten voor de personal computer, ontwikkeld door de spelletjesindustrie en door volumeproductie erg goedkoop, zal de bestaande visualisatie mogelijkheden laagdrempeliger en goedkoper maken. De enorme interne bandbreedte (50 Gb/s) zal hier een hoofdrol spelen. Datasets worden steeds groter en sneller, waarbij vooral cardiovasculaire toepassingen, hele-lichaamscans en metingen van fysiologische functies belangrijke doorbraken zullen laten zien. Moleculaire imaging wordt de toekomst. Het is te voorzien dat de medische werkstations, die nu nog vooral een logistieke functie hebben, steeds krachtigere beeldanalyse-instrumenten worden van radioloog en chirurg. Alle grote medical imaging firma's hebben serieuze activiteiten op dit terrein.

Gezondheid is nummer één, en elke hand is welkom. Zeker die van de intelligent meekijkende werkstations, voor de radioloog, de chirurg en de levenswetenschappelijk onderzoeker. Er lijkt een goede toekomst weggelegd voor (Bio-)Medische Technologie beeldingenieurs.

Referenties

Zie de website van BioMIM: www.bmiz.bmt.tue.nl.

- [1] M. Sonka, 'Handbook of Medical Imaging - Volume 2, Medical Image Processing and Analysis', SPIE, Bellingham, WA, 2001.
- [2] B.M. ter Haar Romeny, 'Front-End Vision and Multi-Scale Image Analysis', Kluwer, 2003.
- [3] B.M. ter Haar Romeny (Ed.), 'Geometry-driven diffusion', Kluwer, 1994.
- [4] L.M.J. Florack, 'Image Structure', Kluwer, 1998.

Afkortingen:

AZM – Akademisch Ziekenhuis Maastricht
BMT – Biomedische Technologie
BSIK - Besluit Subsidies Investerings Kennisinfrastructuur
CT – Computer Tomografie
DICOM – Digital Imaging & Communications in Medicine
DTI – Diffusie Tensor Imaging
ECR – European Congress of Radiology
EU-NSF – European Union-National Science Foundation
IOP – Innovatieve Onderzoek Projecten (Senter)
MRI – Magnetische Resonantie Imaging
NMR – Nucleaire Magnetische Resonantie
PACS – Picture Archiving & Communication System
PET – Positron Emissie Tomografie
PMS – Philips Medical Systems
RSNA – Radiological Society of North America
SPECT – Single Photon Emission Computer Tomography
UMC – Universitair Medisch Centrum
VICI – NWO grant program

Colofon:

Productie:
Communicatie Service
Centrum TU/e

Vormgeving:
Verspaget & Bruinink,
Nuenen

Drukwerk:
HCG-Grafigroep,
Waalwijk