

Erasmus

PATROON en BEELD

tuissen

INFORMATIE en KENNIS

Prof. Dr. B.S. Geertman

PATROON en ZIEKTEBEELD

tuissen

INFORMATIE en KENNIS

Erasmus

MEDISCHE BIBLIOTHEEK EUR



019600 0025 5210

~~Rede 1988~~

**PATROON en BEELD
tussen
INFORMATIE EN KENNIS**

Rede, uitgesproken bij de aanvaarding van de functie van hoogleraar in de Faculteit der Geneeskunde en Gezondheidswetenschappen van de Erasmus Universiteit te Rotterdam, met de leeropdracht medische informatica in het bijzonder de methodologie van de signaal- en patrooninterpretatie, op donderdag 28 april 1988.

door Prof. Dr. E.S. Gelsema

medische Bibliotheek
EUR.

PATROON en BEELD
tussen
INFORMATIE EN KENNIS

Bij de aanvaarding van een leeropdracht is het gebruikelijk het gebied van het betreffende onderzoek en onderwijs te definiëren, althans dit te omschrijven. In het geval van de medische informatica zullen we dan allereerst moeten nagaan wat informatica precies is. Voor dit begrip bestaan verschillende definities. Een omschrijving, die ook een zekere mate van ruimte laat voor diegenen, die zich inzetten voor de toepassingen van de informatica, is die welke de NWO-Stichting (i.o.) SION hanteert:

"De informatica omvat de wetenschappelijke en technische aspecten van de representatie en de verwerking van gegevens met behulp van automaten en tracht hierover algemeen geldende uitspraken op te stellen"¹.

Bij de medische informatica gaat het dus om de representatie en de verwerking van gegevens, waarmee we in de geneeskunde en de gezondheidszorg worden geconfronteerd. Deze gegevens kunnen worden gegenereerd door, dan wel betrekking hebben op, verschillende soorten processen²:

1. Communicatieve processen. Hierbij valt te denken aan de communicatie tussen verschillende afdelingen in een ziekenhuis, of ook tussen de onderscheidene echelons in de gezondheidszorg.
2. Processen in en rond de patiënt. Deze processen genereren gegevens, symptomen en andere waarneembare verschijnselen, die in de geneeskunde een zo centrale rol spelen.
3. Processen in het brein van de arts, die leiden tot besluitvorming.

De medische informatica tracht deze gegevens-representatie en -verwerking zo te formaliseren, dat zij met automaten, d.w.z. veelal door middel van computer-modellen, kan worden beschreven.

Veel van de informatie in de geneeskunde komt op ons af in de vorm van beelden en patronen. De vraag hoe informatie en kennis rond patroon en

ziektebeeld tot een coherente discipline medische informatica kan worden gesmeed komt in de rede van collega Van Bommel aan de orde³. De vraag hoe beelden en patronen, en met name de representatie en de interpretatie daarvan, als een zelfstandig deelgebied staat tussen informatie en kennis is het onderwerp, waarop ik mij in het hierna volgende zal concentreren. Dit moge dan de globale taakafbakening illustreren, die sinds het begin, dat was in 1974, de basis is geweest van de samenwerking tussen collega Van Bommel en mij. Jan, ik spreek hierbij de verwachting uit, dat wij ook in de toekomst op deze zelfde voet kunnen doorgaan.

Het is met veel genoegen dat ik constateer, dat de leerstoel, die ik met het uitspreken van deze rede aanvaard, de eerste is in Nederland, die officieel en expliciet het begrip patrooninterpretatie in zijn omschrijving voert. Patrooninterpretatie, patroon-analyse, patroon-herkenning, het zijn alle meer of minder moderne begrippen voor het gebied van wetenschap, dat zich bezighoudt met de vraag hoe, al dan niet met computers, kennis te verkrijgen is uit informatie: patrooninterpretatie als intermediair tussen informatie en kennis.

Vooraleer te proberen een antwoord te geven op de vraag wat patrooninterpretatie is, is het wellicht nuttig te wijzen op een aantal gangbare misvattingen met betrekking tot de patroonherkenning. Ik ga U dus eerst vertellen wat patroonherkenning niet is.

Eerste misvatting: "Patroonherkenning en beeldverwerking zijn synoniem". Het is waar, dat de naam van de internationale vereniging op dit gebied (International Association for Pattern Recognition) en de namen van enkele internationale tijdschriften (Pattern Recognition en Pattern Recognition Letters), binnen het kader waarvan zowel patroonherkenning als beeldverwerking worden beoefend en beschreven, dit misverstand in de hand werken. Het streven naar bondigheid is hier verantwoordelijk voor een zekere mate van begripsverwarring. Geconstateerd kan worden, dat de naamgeving in Nederland wat zorgvuldiger is: De vereniging heet "Nederlandse Vereniging voor Patroonherkenning en Beeldverwerking" en de werkgemeenschap voor dit gebied binnen de Stichting SION (i.o.) kreeg aanvankelijk de wat wijdlopijge naam: "Werkgemeenschap voor Patroonherkenning en Beeldverwerking (waarin

opgenomen Kunstmatige Intelligentie)". Het bezwaar van deze naamgeving was echter wel, dat zij moeilijker hanteerbaar was. In het aan hoofdletterde afkortingen zo rijke NWO-SION jargon kreeg de werkgemeenschap dan ook al gauw de naam WPKI, waaraan naast het voordeel van de bondigheid het nadeel was verbonden, dat de in de oorspronkelijke naam zo zorgvuldig ingebouwde subtiliteiten weer geheel teloor gingen. Bovendien werd een tweede misvatting, die hierna uitvoeriger ter sprake zal komen, meteen mee ingebouwd.

Terzake echter: dat patroonherkenning en beeldverwerking niet identiek zijn komt enerzijds hierdoor tot uitdrukking, dat er beeldverwerkende activiteiten zijn, waaraan geen patroonherkenning te pas komt. Te denken valt hierbij aan bijvoorbeeld beeldverbetering of beeldcodering. Ook in de geneeskunde zijn daarvan voorbeelden te vinden: het verbeteren van angiogrammen, teneinde daarin betrouwbare metingen van adervernauwingen te kunnen verrichten⁴. Ten behoeve van de zogeheten Picture Archiving and Communication Systems is beeldcompressie een essentieel onderdeel⁵; hierdoor kunnen beelden met een minder groot beslag op de capaciteit van opslagmedia gearchiveerd worden. Anderzijds behoeft aan patroonherkenning niet noodzakelijkerwijs beeldverwerking vooraf te gaan. Het stellen van een diagnose op grond van symptomen en/of laboratoriumuitslagen⁶ is een vorm van patroonherkenning. Of, om een voorbeeld van buiten de geneeskunde te nemen: het vinden van condities, die bevorderlijk zijn voor het ontstaan van lawines, opdat deze voorspeld kunnen worden door de analyse van meetgegevens in het veld, is eveneens een vorm van patroonherkenning⁷.

Een tweede begripsverwarring: "Patroonherkenning en kunstmatige intelligentie zijn synoniem." Het is niet eenvoudig om hier de demarcatielijn aan te geven. Want het is juist, dat patroonherkenning en kunstmatige intelligentie nauw met elkaar zijn verweven, of dat zouden moeten zijn en dat aanvankelijk ook waren. Een soms beluisterde definitie, die het verschil tussen beide gebieden weergeeft is: "Als het werkt is het patroonherkenning, als het niet werkt is het kunstmatige intelligentie". De bovenmatig hoog gespannen toekomstverwachtingen, als voorspellingen uitgesproken in de wereld van de kunstmatige intelligentie, toen deze nog in de kinderschoenen stond is mede debet aan deze wat cynische demarcatie⁸. Hieraan zou ik een door mijzelf als patroonherkenner geconstateerd fenomeen kunnen toevoegen: de patroonherkenner en

de beoefenaar van de kunstmatige intelligentie kan men van elkaar onderscheiden door het observeren van de manier waarop zij achter hun instrument, i.c. de terminal plaatsnemen. Zit de persoon in kwestie, ook na uren nog rechtop, dan heeft men met een vrij grote mate van zekerheid met een patroonherkenner van doen. Glijdt hij echter vrijwel onmiddellijk achterover, zodat hij vanuit een wat slordige, bijna liggende positie zijn instrumentarium bedient, dan betreft het naar alle waarschijnlijkheid een beoefenaar van de kunstmatige intelligentie.

Echter, zo gemakkelijk als met deze ludieke voorstelling van zaken komen wij er niet vanaf.

Bezien we hoe de twee vakgebieden geëvolueerd zijn, dan valt te constateren, dat patroonherkenning en beeldverwerking in de vorm, waarin wij die thans kennen, het natuurlijke verlengstuk zijn van het meten en het uit de metingen opbouwen van kennis, zoals dat in de experimentele fysica al lang gebruikelijk was. Patroonherkenners van het eerste uur zijn dan ook voornamelijk voortgekomen uit de wereld van de fysica en de technologie. Naarmate het proces van observeren in de natuurkunde steeds gecompliceerder werd en de te verwerken en te interpreteren meetgegevens grootschaliger, en met het beschikbaar komen van computers, werden de voorwaarden geschapen voor de opkomst van de patroonherkenning. Bezien we de toepassingen van het eerste uur in de geneeskunde, waarvan genoemd kunnen worden het gebruik van computers voor de analyse van het electrocardiogram⁹, voor de automatisering van de karyotypering¹⁰ en voor de differentiaaltelling van leukocyten¹¹, dan valt op, dat deze in hoofdzaak zijn ontwikkeld door fysici en ingenieurs. Ook in Nederland is dat het geval geweest. Jarenlang is Delft de enige plaats in Nederland geweest waar patroonherkenning en beeldverwerking academisch werden bedreven en onderwezen.

De kunstmatige intelligentie kent een geheel andere ontstaansgeschiedenis. Fundamenteel anders is het object van studie. Waar voor patroonherkenners de natuur centraal stond, waarbij de computer niet anders was dan een instrument, was het in de kunstmatige intelligentie juist de computer, die het onderwerp van studie was. Vanaf het begin heeft men daar een antwoord proberen te geven op de fundamentele vraag, in hoeverre met behulp van een computer intelligent gedrag te simuleren zou zijn. Niet geheel verwonderlijk is

het daarom, dat de beoefening van de kunstmatige intelligentie werd ingebed in een nieuw vakgebied, dat in de Engelstalige landen Computer Science ging heten en dat in Nederland pleegt te worden aangeduid met Informatica. Daarbij is het althans in Nederland zo, dat de informatica is voortgekomen uit de wiskunde. Zo gebeurde het, dat er twee soorten computer-gebruikers en-deskundigen naast elkaar ontstonden: Enerzijds deze veelal uit de wiskunde voortgekomen informatici en anderzijds de fysici en ingenieurs, die al vanaf het begin de computer gebruikten als instrument bij het oplossen van vaak zeer ingewikkelde problemen. Te denken valt hierbij aan het zeer intensieve gebruik van computers bij het modelleren van veel-deeltjes problemen, bij het verwerken van meetgegevens in de hoge-energie fysica en ook, om enkele voorbeelden in de geneeskunde te noemen, in ECG-interpretatiesystemen en in CT-systemen. In de beeldverwerking waren zogenaamde pipeline-systemen en parallelle systemen al geruime tijd gemeengoed op het moment dat de informatica formeel in Nederland zijn intrede deed¹².

Nu is het niet verwonderlijk, dat de kunstmatige intelligentie en de patroonherkenning in ruimere zin duidelijke raakpunten hebben. Op het gebied van de klassificatie, zowel als op het gebied van de beeldverwerking is dit het geval. Het zou daarom te betreuren zijn, als deze twee vakgebieden zich gescheiden van elkaar zouden blijven ontwikkelen. Het zou weinig zinvol zijn als binnen de informatica de beeldverwerking weer opnieuw herontdekt zou moeten worden, of als in zogenaamde expertsystemen de statistische onderbouwing zou worden veronachtzaamd. Evenzeer kunnen in patroonherkenningssystemen vruchtbaar verworvenheden uit de kunstmatige intelligentie geïmplementeerd worden.

Een van de vruchtbare aanrakingspunten is het vraagstuk van de behandeling van onzekerheid in besluitvormings-systemen. Met name in de geneeskunde hebben we te maken met dit probleem. Tot het vinden van een antwoord op de nu nog maar zeer ten dele beantwoorde vraag, hoe onzekerheid in de observaties en onzekerheid over de geldigheid van regels doorwerken in de uitspraken in expertsystemen, zullen beide vakgebieden in symbiose een belangrijke bijdrage kunnen geven.

Het ware te hopen, dat ook bij de diverse geldstromen, die in Nederland het universitaire bedrijf beheersen, de overtuiging postvat, dat een kruisbestuiving

tussen de traditionele gebieden patroonherkenning en beeldverwerking enerzijds en de informatica, en in het bijzonder de kunstmatige intelligentie anderzijds, uiterst vruchtbaar zou kunnen zijn. Daarbij zou het niet nodig moeten zijn, dat verworvenheden van het ene gebied in het kader van het andere nog eens herontdekt worden.

Na aldus enige misvattingen uit de weg te hebben geruimd, daarbij in de eerste plaats gezegd hebbend wat patrooninterpretatie niet is, is het thans op zijn plaats om te omschrijven wat patroonherkenning, en in zijn modernere aanduiding patrooninterpretatie, dan wel is en hoe deze met vrucht in de geneeskunde kan worden toegepast.

Men zou het aldus kunnen formuleren: patrooninterpretatie, althans de statistische variant daarvan, is het onderzoek naar de structuur van objecten en object-verzamelingen, op grond van waarnemingen, die aan ieder object zijn gedaan. Daarbij kunnen de objecten zeer divers van aard zijn: het kan gaan om één-dimensionale signalen (electrocardiogrammen¹³ of electroencefalogrammen¹⁴), om twee-dimensionale signalen (radiologische beelden¹⁵ of cytologische beelden¹⁶), maar de objecten kunnen ook geheel anderssoortig zijn: te denken valt aan patiënten met een bepaald patroon van symptomen, waaruit diagnose of prognose kan worden afgeleid. En, om een aantal voorbeelden van buiten de geneeskunde te noemen: het kan gaan om wolkenpatronen, t.b.v. de weersvoorspelling¹⁷ of om interacties van elementaire deeltjes, waaruit eigenschappen van deze deeltjes kunnen worden afgeleid¹⁸. Kortom, overal waar informatie beschikbaar is in de vorm van metingen, volgt vroeg of laat een fase van patrooninterpretatie, door middel waarvan informatie wordt geordend en omgezet in kennis in de vorm van modellen of regels voor klassificatie.

Deze beschrijving maakt het universele toepassingskarakter van patrooninterpretatie duidelijk: ongeacht het toepassingsgebied, steeds is het dezelfde verzameling technieken, waarmee men in staat is informatie in kennis te transformeren: patroon- en beeld-interpretatie tussen informatie en kennis.

Tevens blijkt dan, dat patrooninterpretatie niets nieuws is, en niet noodzakelijkerwijs met computerverwerking te maken heeft. Wat Kepler deed met de observaties van de bewegingen van de planeten, wat Mendel deed met de waarnemingen aan planten en dieren was een vorm van patrooninterpretatie:

het integreren van fenomenologische beschrijvingen in één samenhangend systeem, het doel van alle wetenschappelijke bezigheid.

Wel is het zo, dat met de komst van de computer de mogelijkheden enorm zijn toegenomen. Grote hoeveelheden meetgegevens, die vroeger onontwaaar waren, kunnen nu met krachtige rekentechnieken geordend worden.

Toch blijft de combinatie van het menselijk oog en brein een uitstekend patroonherkenningsinstrument, dat ons van pas blijft komen, ook wanneer de objecten al op het abstracte niveau van punten in een multi-dimensionale ruimte zijn gerepresenteerd. Dit verklaart de grote betekenis van interactieve systemen, die in een exploratief stadium de waarnemer, onderzoeker (tegenwoordig ook wel met het afschuwelijke germanisme "wetenschapper" aangeduid) in staat stelt ingewikkelde rekenprocessen uit te besteden, terwijl hij toch zelf de besturing van het proces van ordening en interpretatie in handen houdt¹⁹. Dusdoende wordt kennis opgebouwd in de vorm van besluitvormingsregels, die eventueel weer tot hogere ordeningsmodellen kunnen leiden.

Om de plaats aan te geven van patroonherkenning en beeldverwerking in de geneeskunde, wil ik een voorbeeld geven uit de haematologie. Bij de ontwikkelingen op dat gebied ben ik zelf vanaf een zeer vroeg stadium nauw betrokken geweest²⁰. Ik schilder U in het kort de historische gang van zaken in drie fasen.

Het begon allemaal omstreeks 1965, toen men zich op verschillende plaatsen in de wereld, waar aan patroonherkenning en beeldverwerking werd gedaan, ging afvragen of het mogelijk zou zijn de differentiatie van mature leukocyten te automatiseren. Het leek veelbelovend: het automatiseren van een analyse, waarmee landelijk gezien nogal wat mankracht gemoeid is. Behalve een economische motivatie was er bovendien een argument van kwaliteitsverbetering. Een argument, dat meestal wordt gebracht in de vorm van de uitspraak: "De computer wordt niet moe". Men ging dus in diverse laboratoria aan het werk en tegen het begin van de jaren '70 bleek het inderdaad mogelijk te zijn om de betrouwbaarheid van de handmatige analyse met geautomatiseerde methoden te evenaren²¹. Inmiddels hadden ook industrieën zich ermee bemoeid en kwamen er apparaten van verschillend fabrikaat voor dit doel op de markt. Hierbij bleef het echter niet. Al gauw diende de vraag zich aan of ook de immature leukocyten op dezelfde wijze van elkaar konden worden onder-

scheiden. Dat was mede daarom interessant, omdat dit voor de in de cytometrie altijd concurrerende zgn. flow-technieken minder haalbaar leek. Deze opgave bleek heel wat moeilijker te zijn en vroeg ook om de ontwikkeling en de toepassing van andere methoden, dan die welke in de klassieke patroonherkenning gangbaar waren. Dit, omdat men bij de immature reeksen niet van doen heeft met discreet van elkaar verschillende types cellen, maar met een continuüm tussen de blasten enerzijds en de uitgerijpte cellen aan de andere zijde. Niettemin werd ook dit probleem vergaand opgelost²². Hierbij kwam echter tevens een andere grote moeilijkheid aan het licht, te weten het probleem van de objectieve referentie. Wanneer een systeem uitkomsten produceert, die afwijken van de uitspraken van menselijke experts, die zelf een beperkte betrouwbaarheid hebben, wie heeft er dan gelijk? En is het in dergelijke gevallen niet ten enen male onmogelijk om de prestatie van een systeem te meten? We raken hier weer aan het punt van de variabiliteit in de uitspraken van verschillende waarnemers en zelfs in de uitspraken, op verschillende tijdstippen gedaan, van eenzelfde waarnemer²³. Noch de patroonherkenning, noch de kunstmatige intelligentie kunnen zich veroorloven deze moeilijkheid te veronachtzamen. Zij duikt ook levensgroot op bij de acquisitie van kennis t.b.v. zgn. kennisbestanden.

Een derde stadium in de toepassing van methodes van patroonherkenning in de haematologie diende zich aan toen men zich ging realiseren, dat niet zozeer de klassificatie van enkelvoudige cellen interessant was, maar dat het in de geneeskunde veelal gaat om de klassificatie van cel-verzamelingen. Een diagnose zal meestal worden gedaan op grond van een totaalbeeld van een uitstrijkje. Nu kan men van dat totaalbeeld natuurlijk een beschrijving geven in termen van de klasse-labels van de erin voorkomende cellen. Bij een differentiaaltelling van mature leukocyten is dat ook precies het doel. De vraag moet echter gesteld worden of in andere gevallen, in het algemeen, het reduceren van de doorgaans zeer overvloedige informatie betreffende de afzonderlijke cellen tot slechts hun klasse-labels, niet te veel informatie verloren doet gaan. Speciale technieken voor de klassificatie en de beschrijving van object-verzamelingen zijn hier van grote betekenis²⁴.

Aan alle drie stadia in deze ontwikkeling is door onze vakgroep, veelal in samenwerking met de collegae Halie en Bins in Groningen, bijgedragen. De dissertaties van Landeweerd²⁵ en Timmers²⁶ getuigen daarvan. Beiden

beschreven de ontwikkeling van de methodologie en de toepassing daarvan op dit terrein. Wat sterker methodologisch van aard is het werk aan classificatie-technieken voor discrete en incomplete kenmerk-vectoren, waarop Queiros later dit jaar aan deze universiteit hoopt te promoveren²⁷.

Bij wijze van afsluiting zou ik hier ter illustratie van de plaats van patrooninterpretatie tussen informatie en kennis, een analogon uit de fotografie willen gebruiken²⁸. Daarbij komt nog eens tot uitdrukking, dat patroonherkenning en kunstmatige intelligentie nauw met elkaar zijn verweven.

Het verzamelen van observaties in zogenaamde gegevensbestanden kan worden vergeleken met het belichten van een film, waarbij een latent beeld ontstaat. Evenzo kan een gegevensbestand worden beschouwd als een verzameling van latente kennis.

Evenals een film moet worden ontwikkeld, om het latente beeld zichtbaar te maken, zo moet ook de latent aanwezige kennis in het gegevensbestand worden ontwikkeld. Dit nu wordt bewerkstelligd d.m.v. het proces van de patrooninterpretatie: de fenomenologie van de observaties in het gegevensbestand wordt getransformeerd in kennis door gebruik te maken van technieken van patroonherkenning.

Tenslotte moet in de fotografie het zichtbare beeld worden gefixeerd, opdat het niet met de tijd vervaagt en uiteindelijk verloren gaat. Een manier waarop tegenwoordig kennis kan worden gefixeerd is door deze vast te leggen in kennis-bestanden of -systemen. Klassificatie-modellen, modellen van een gebied van expertise, worden sinds enkele jaren in zogeheten expertsystemen opgeslagen. Hierdoor komt de ontwikkelde kennis ook voor anderen beschikbaar.

Dat de patrooninterpretatie in de gehele wetenschapsbeoefening een centrale plaats inneemt, omdat het bij iedere vorm van wetenschap gaat om het uitstijgen boven de fenomenologie naar een meer geordende beschrijvingsvorm, heb ik in het voorafgaande getracht duidelijk te maken. Kanak heeft het als volgt uitgedrukt:

"Indeed, since recognizing patterns is, in one form or another, intrinsic to intelligent activity and since the search for regularities is the principal concern of scientific inquiry, it follows that the field of pattern recognition impinges upon all scientific inquiry and intelligent behaviour"²⁹.

Ik wil deze rede niet besluiten zonder een woord van dank uit te spreken aan het adres van het Bestuur van de Faculteit der Geneeskunde en Gezondheidswetenschappen, van het College van Bestuur van deze Universiteit en van het Bestuur van de Stichting Universiteitsfonds Rotterdam. Door de inspanningen van deze bestuurscolleges is deze benoeming mogelijk geworden. Het daarbij in mij gestelde vertrouwen zal voor mij bij de uitoefening van mijn taak een stimulans zijn. Niet onvermeld mag hier blijven de niet aflatende inzet van collega Van Bommel. Daarvoor wil ik hem ook vanaf deze plaats nog eens van harte danken. Ik heb reeds de verwachting uitgesproken, dat wij ook in de toekomst onze vruchtbare samenwerking zullen continueren. De plezierige, open sfeer, die de omgang tussen de leden van de vakgroep altijd heeft gekenmerkt, zal daartoe zeker bijdragen. Het in stand houden van deze goede persoonlijke contacten binnen de vakgroep houd ik voor één van de belangrijkste voorwaarden voor het goed functioneren van onze vakgroep.

Gaarne wil ik aan het slot van deze rede een zeer persoonlijke gedachte uitspreken. Velen zijn er in mijn leven geweest, die tot mijn scholing hebben bijgedragen, of die op andere wijze mijn vorming hebben mogelijk gemaakt. Al deze personen hier memoreren zou mij ver buiten het mij toegemeten tijdsbestek voeren.

Ik hecht er evenwel zeer aan hier slechts één uitzondering te maken. Bij mijn gehele verdere scholing en persoonlijke vorming is altijd zeer sterk op de achtergrond aanwezig gebleven degene, die onder meer als mijn onderwijzer op de lagere school, bij mij al vroeg een belangstelling voor de wetenschap heeft bijgebracht. Ook nog lang daarna bleef ik onder zijn invloed, die veruitgang boven het stimuleren van slechts wetenschappelijke interesses: het ware mijn vader vergund geweest deze dag te mogen beleven.

REFERENTIES.

1. SION Beleidsnota 1989-1993, SION 363, oktober 1987.
2. van Bommel JH, Festen CMAW, red. Medische Informatica; vernieuwing in de Geneeskunde. Amsterdam: Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 1987.
3. van Bommel, JH. Informatie en Kennis rond Patroon en Ziektebeeld. Inaugurale rede, Erasmus Universiteit, Rotterdam, 1988.

4. van Ommeren J, Kooijman CJ, van Meenen RJ, Gerbrands JJ, Schulte AVMCL, Reiber JHC. Artery detection and analysis in cine-angiograms. In: Gelsema ES, Kanal LN eds. Pattern Recognition in Practice II. Amsterdam: North-Holland Publ. Comp. 1986: 331-343.
5. Greberman M, Gitlin JH. Teleradiology: the relationship to PACS. In: Wamsteker K, Jonas U, van der Veen G, van Waes PFGM eds. Documed '87. Amsterdam: Excerpta Medica, 1987: 573-579.
6. De Dombal FT. Evaluation of decision making by humans and computers in acute abdominal and acute chest pain. In: De Dombal FT ed. Lecture Notes in Medical Informatics. Berlin: Springer Verlag 1983; 22: 42-54.
7. Buser O, Fohn P, Good W, Gubler H, Salm B. Different methods for the assessment of avalanche danger. Cold Regions Science and Technol 1985; 10: 199-218.
8. Dreyfus ILL. What Computers Can't Do. New York: Harper and Row Publ 1972.
9. Young TY, Huggins WH. The intrinsic component theory of electrocardiography. IRE Trans Biomed Electron 1963: 214-221.
10. Hilditch J, Rutovitz D. Chromosome recognition, Ann N.Y. Acad Sci 1969; 157: 339-364.
11. Prewitt JMS, Mendelsohn ML. The analysis of cell images. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1966; 128: 1035-1053.
12. Duff MJB. Special hardware for pattern processing. In: Proc. 6-th Int. Conf. on Patt. Rec., Silver Spring: IEEE Comp. Soc. Press 1982: 368-379.
13. Talmon JL. Pattern Recognition of the ECG. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam, 1983.
14. Jansen BH. EEG Segmentation and Classification. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam, 1979.
15. van der Stelt PF, Geraets WGM. Quantitative assessment of periodontal bone defects. In: Wamsteker K, Jonas U, van der Veen G, van Waes PFGM. eds. Documed '87. Amsterdam: Excerpta Medica, 1987: 247-254.
16. Gelsema ES, Hunink M, Queiros CE, Timmers T. The use of correspondence analysis in the assessment of morphologic changes during carcinogenesis. Cytometry 1984; 5: 463-468.
17. Parikh JA, Ball JT. Satellite cloud analysis for a radiation model. In: Gelsema ES, Kanal LN eds. Pattern Recognition in Practice. Amsterdam: North-Holland Publ Comp 1980: 201-212.
18. Gelsema ES. A Bubble Chamber Investigation of the K⁻ Resonance. Proefschrift, Universiteit van Amsterdam, 1965.
19. Gelsema ES. ISPAHAN: An interactive system for pattern analysis. In: Gelsema ES, Kanal LN eds. Pattern Recognition in Practice. Amsterdam: North-Holland Publ. Comp. 1980: 481-491.
20. Gelsema ES, Landeweerd GH. White blood cell recognition. In: Krishnaiah PR, Kanal, LN eds. Handbook of Statistics 2. Amsterdam: North-Holland Publ. Comp. 1982.
21. Bacus JW, Gose EE. Leukocyte pattern recognition, IEEE Trans. System Man Cybernet. 1972; 2: 513-526.
22. Brenner JF, Gelsema ES, Necheles TF, Neurath PW, Selles WD, Vastola E. Automated classification of normal and abnormal leukocytes. J. Histochem. and Cytochem. 1974; 22: 697-706.
23. Bacus JW. The observer error in peripheral blood cell classification. Amer. J. Clin. Pathol. 1973; 59: 223-230.
24. Gelsema ES, Quieros CE, Timmers T. The formalism of correspondence analysis as a means to describe object samples. In: Proc. 6-th Int. Conf. on Patt. Rec., Silver Spring: 1982 IEEE Comp. Soc. Press: 564-568.
25. Landeweerd GH. Pattern Recognition of White Blood Cells. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam 1981.
26. Timmers T. Pattern Recognition of Cytological Specimens. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam 1987.

27. Queiros CE. Pattern Recognition with Discrete and Mixed Data: Theory and Practice. Proefschrift, Erasmus Universiteit, Rotterdam 1988.
28. Gelsema ES. Prospects of pattern analysis for clinical decision making. In: Van Bommel JH, Ball MJ, Wigertz O eds. Medinfo '83, Amsterdam: North-Holland Publ Comp 1983: 552.
29. Kanal LN. Interactive pattern analysis and classification systems: A survey and commentary. Proc IEEE 1972; 60: 1200-1215.