

Patronen en symbolen: een wereld door het oog van de machine*

Lambert Schomaker
Rede, uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van
hoogleraar in de kunstmatige intelligentie
aan de Rijksuniversiteit Groningen
Groningen, 10 december 2002

Geachte aanwezigen,

op het moment dat ik deze rede uitspreek, realiseer ik me goed dat de naam van mijn leerstoel, *Kunstmatige Intelligentie*, een intrinsieke tegenstrijdigheid zou kunnen bevatten. Immers, na vijftig jaar onderzoek is het nog steeds niet duidelijk of de mensheid in staat zal zijn om een kunstmatig systeem te construeren dat onze wereld kan waarnemen en begrijpen, om vervolgens ook intelligent te handelen.

Ik maak me echter geen zorgen over dit mogelijk gebrek. Het is namelijk algemeen bekend dat juist die wetenschappen, die het verst verwijderd staan van mogelijk praktisch nut, het allerhoogste aanzien genieten. Daarenboven zou de uitdaging die mij is gesteld een stuk minder groot zijn wanneer autonome intelligente machines op dit moment al - en met een soepel sprongetje - de lopende band verlieten om de mensheid te gaan helpen.

Het was de komst van de computer die heeft geleid tot de vraag die mijn vakgebied wakker houdt: "is intelligentie maakbaar?". De pogingen die gedaan zijn om antwoorden te vinden, hebben inmiddels geleid tot een grote hoeveelheid kennis. Ik zal proberen om vandaag een klein deel van die kennis met U te delen, in de vorm van de inzichten die zich gedurende mijn eigen wetenschappelijke reis hebben ontwikkeld.

Voordat ik echter overga tot het inhoudelijk deel van deze verhandeling wil ik graag beginnen met een meer wetenschapsfilosofisch getinte inleiding om het kader aan te geven waarbinnen de rest van deze presentatie begrepen kan worden.

De term wetenschap wordt lichtzinnig gebruikt als een vergaarbak voor een breed spectrum van menselijke activiteit. Zoals het geval is met veel abstracte begrippen, roept de term "wetenschap" bij de toehoorder een Aha-erlebnis op dat niet altijd stoelt op een helder onderliggend begrip.

Het is naar mijn mening zinnig om een onderscheid te maken tussen drie vormen van -schap: **denkenschap**, **wetenschap** en **kunnenschap**. De neologismen klinken U wellicht vreemd in de oren, maar de woorden dekken de door mij beoogde lading.

Denkenschap betreft de ontwikkeling van stelsels van concepten. Denkbeelden volgen elkaar op in een niet al te snel tempo, hier en daar ondersteund door experimenteel onderzoek. **Denkenschap** is bijzonder leuk om te doen, men wordt niet teveel door aardse trivialiteiten lastig gevallen. De denker streeft naar een vereenvoudiging van de interpretatie van de stroom van gegevens waarin wij ons bevinden gedurende de omgang met de wereld. Empirie speelt in **denkenschap** echter een ondergeschikte rol. De denker streeft voornamelijk naar esthetiek in denkbeelden. Met enig geluk gebruikt de denker het scheermes van Occam, anders is de woordenstroom niet te stuiten. Vernuftig wordt immers in **denkenschap** gebruik gemaakt van het woord: de nissen, tekortkomingen en verleidingen die natuurlijke taal ons biedt om een luisteraar op het linker- of rechterbeen te zetten. Spijtig genoeg ontbreekt vaak de wiskunde als gereedschap en als lingua franca. Desalniettemin heeft **denkenschap** de rijkste traditie en staat in hoog aanzien.

Echte *Wetenschap* betreft *kennis der natuur*, met uitbreiding van de twee onvermijdelijken: *logica* en *wiskunde*. Het "weten" is echter een schaars goed. In sommige onderzoeksgebieden schiet het goed op. Daar werkt men in kleine stapjes, met jaarlijks een fiks aantal publicaties van elk op zich beperkte omvang. Stapsgewijs wordt de wereld verrijkt met nieuwe, veelal kleine wetenswaardige feiten uit de natuur. Er is natuurlijk een risico dat al deze feiten ongerelateerd zijn, maar het is juist hier, en ik doel natuurlijk op de biologie, waar momenteel de grootste sprongen worden gemaakt. In

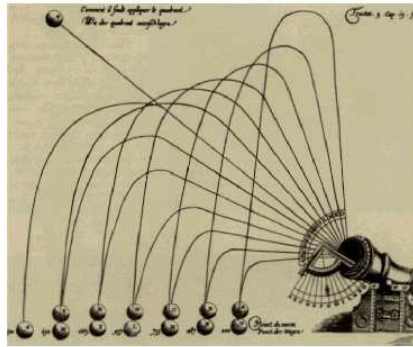
aanpalende onderzoeksgebieden daarentegen - waar men eveneens aan wetenschap wil doen - worden ook veel feiten aan de natuur ontfutseld, maar zolang deze feiten strijdig zijn met een nagestreefd hoog-esthetisch denkbeeld schrijft men ze maar liever niet op. Dat laatste zou ook niet veel zin hebben want er is op de hier beoogde podia alleen plaats voor grootse denkbeelden. Kortom, niet zelden is er bij nagestreefde **wetenschap** vooral sprake van een overmaat aan **denkenschap**. Pro forma tast men met de grote teen een beetje in het koude water van de realiteit, maar niet te lang en niet te diep want de **denkenschap** is een aangener en droger tijdverdrijf dan echte wetenschap.

Tenslotte, en ten derde is er de *Kunnenschap*, een jonge loot aan de stam. Hier treffen wij aan: de bouwers. De bouwers worden zelden gedreven door grootsheid van denkbeelden, noch zijn zij bevredigd door te “weten dat”. De bouwer put zijn tevredenheid uit een ander type overwinning op de natuur: een gevonden geneeswijze, een gelukte constructie, een ronkende machine of een werkend algoritme levert de voldoening in het werk. Hier staat centraal het “weten hoe”. Omdat een bouwer de geldingsdrang vooral concentreert op een worsteling met de materie, ontbreekt het vervolgens aan tijd of motivatie om zich te storten in argumentaties op het niveau van **denkenschap**. De bouwer geniet van zijn overwinning op de natuur en de instemming van vakbroeders. Inmiddels heeft de bouwer geleerd om het “weten hoe” om te zetten in “weten dat”, middels taal en wiskunde. Achterdochtig echter bekijkt de bouwer met name de **denkenschap**. Immers, door het voortdurende contact met de weerbarstige realiteit weet de bouwer dat het streven naar een esthetisch verantwoord conceptenstelsel niet de enige juiste leidraad kan zijn om de wereld te begrijpen en te beheersen.

In de kunstmatige intelligentie vindt men ze alledrie: de denker, de weter en de bouwer, vaak gecombineerd in één en dezelfde persoon. Dit is op zich niet vreemd. Van sir Isaac Newton is bekend dat hij des morgens ballistische kogelbanen voor de koning berekende en vervolgens des middags daardoor geïnspireerd nadacht over zwaartekracht. Toch is er een probleem. Lange tijd werden natuurwetenschappers niet tot de **denkenschap** toegelaten: Anthonie van Leeuwenhoek en Christiaan Huygens kwamen de Academie (Teyler's Genootschap in Haarlem) niet gemakkelijk binnen: zij waren te aards, want geen filosoof of theoloog. De bouwers (de ingenieurs) en de geneesheren, beiden leden van de derde kaste, moesten vervolgens zelfs wachten tot de vorige eeuw voordat zij mochten toetreden tot de maatschappelijke orde van academici. Waarom dit relevant is, vraagt U zich af?

Tot op de dag van vandaag lijkt er binnen de orde der academici sprake te zijn van de genoemde drie onderklassen, met een rangorde waarin de bouwers vaak het onderspit delven. Een vakgebied als de kunstmatige intelligentie, maar ook de informatica is voor sommigen in de wetenschap suspect. Immers, de informatica en de artificiële intelligentie hebben niet de natuur, maar een menselijk artefact, de computer, als inspiratie voor het onderzoek gekozen, zo gaat de redenering. “Allemaal modieuze nieuwlichterij en geknutsel met een korte levensverwachting”.

Ook hier maak ik mij niet bijzonder druk. Niet de vallende appel maar de baan van de kanonskogel was Newton's inspirator.



Figuur 1: We zien hier hoe Newton afkeurend kijkt naar een al te conceptuele (niet-parabolische) weergave van de kogelbaan. De techniek is een goede inspirator voor wetenschap.

Het kanon is, net als de computer, een technisch artefact en geen natuurlijk gegeven. Toen gedurende de industriële revolutie van de negentiende eeuw de stoomketels op onverklaarbare wijze, dwz. door onwetendheid, ontploften, leidde dit tot de ontwikkeling van een respectabel wetenschapsgebied: de thermodynamica. Zo leverde ook de komst van de computer niet alleen maar praktisch nut. Het “Elektronisch Brein” riep zeer veel uitdagende wetenschappelijke vragen op. Ook hier leidt de aanwezigheid van een door mensen gemaakte machine tot het inzicht dat er sprake is van onwetendheid. Met name betreft deze onwetendheid de mogelijkheden en beperkingen van het redeneren met een automaat. De aantrekkingskracht van een perfect redenerend mechanisme blijft tot vandaag onverminderd bestaan. De aanwezigheid van de computer dwingt ons tot een heroverweging van de positie van de mens binnen de verzameling van cognitieve systemen. De bouwer speelt in dit geheel een belangrijke rol: *Begrijpen door Bouwen* is een steeds belangrijker onderdeel van echte wetenschap, en niet alleen binnen informatica en kunstmatige intelligentie. Door het streven naar werkende modellen van waarnemende en redenerende systemen worden wij geconfronteerd met de sterke en zwakke kanten van natuurlijke intelligentie en cognitie. Alles in overweging genomen is er voldoende grondstof voor een bloeiende ontwikkeling van het interdisciplinaire wetenschapsgebied van kunstmatige intelligentie voor de komende jaren. In Groningen is deze bloei gedurende de laatste tien jaar op gang gekomen door het enthousiaste werk van een interdisciplinair team met wortels in de psychologie, cognitiewetenschap, informatica, logica, biofysica en taalkunde, onder de geuzenvlag “Technische Cognitiewetenschap”.

Incommensurabilia

Na dit kort pleidooi voor het bestaansrecht van dit wetenschapsgebied wil ik graag komen tot het inhoudelijk deel van deze oratie.

Het grootste probleem bij het ontwikkelen van intelligente systemen die kunnen waarnemen, redeneren en handelen, is het gehanteerde computationele paradigma. Er

zijn twee visies op informatieverwerking, die beide een rijk arsenaal aan methoden met zich meebrengen. Jammer genoeg moeten we deze visies rekenen tot de *incommensurabilia*: de onverenigbaarheden.

De eerste vorm van modelleren is de logica, die als toegepaste methode een enorme ontwikkeling doormaakte doordat de formalismen van Boole (1848) gematerialiseerd konden worden. Aanvankelijk werd dit gerealiseerd door middel van schakelrelais, later met behulp van radiobuizen en uiteindelijk met transistoren. Boole zelf zei in 1848 dat hij had uitgevonden:

“... a new and peculiar form of mathematics to the expression of the *operations of the mind in reasoning*...”

(vertaald) “... een nieuwe en merkwaardige vorm van wiskunde, voor de uitdrukking van de bewerkingen van de geest bij het redeneren...”

Honderd jaar later begint men met veel moed om de kracht van logica in te zetten voor het oplossen van een groot aantal problemen in informatieverwerking, met behulp van de nieuwbakken computer. Dat lukt best aardig. Het lukt zelfs zo goed dat er optimistische voorspellingen worden gedaan over schakende, waarnemende en vertalende computers die omstreeks het jaar 2000 de wereld zouden gaan bevolken. Computerschaak is inderdaad een groot succes. Weliswaar verschijnt er nog af en toe een menselijke meesterschaker ten tonele die goed tegen de computer speelt, maar statistisch gezien verliest het overgrote merendeel van de menselijke spelers al een decennium lang van schaakprogramma's. Daarmee is de wetenschappelijke kous af. Immers, van een nieuw medicijn verwacht men ook niet dat werkelijk **alle** patiënten genezen om het nieuwe middel werkzaam te noemen. Op de achtergrond heeft zich echter binnen andere deelgebieden dan het computerschaak een belangrijke ontwikkeling voltrokken.

Niet overal was het gebruik van logica zo succesvol als bij de implementatie van de basale reken- en zoekprocessen met een computer. Boole had het nog zó gezegd: *logica, dat gebruikt men voor redeneren*. De beschikbaarheid van de computer werd echter nuttig geacht voor een bijzonder breed scala van informatieverwerkende functies. Daarbij werd de logica in de beginjaren direct toegepast op de laagste verwerkingsniveaus. Voor het implementeren van een visueel-perceptief systeem, en dit kunnen wij ons nu nauwelijks meer voorstellen, werd de binaire waarde van een individueel beeldelement (“pixel”) opgevat als logische propositie voor een redenerend systeem.

Het werd al snel duidelijk dat een dergelijke aanpak grote problemen met zich meebracht. Ten eerste is er bij het waarnemen van een beeld van de buitenwereld altijd sprake van ruis. Ruis in de sensor, trillingen in de sensor, beweging in het beeld. Ten tweede zijn er in de visuele en auditieve signaalverwerking krachtige transformaties op de ruwe signalen nodig om tot robuuste representaties te komen die bruikbaar zijn als grondstof voor een redenerende machine. Het werd sommigen duidelijk dat de expressieve kracht van logica hier tekortschoot. Omstreeks 1969 giste het in de wereld van de cybernetica, en begin jaren zeventig was het onvermijdelijke gebeurd: er trad een afsplitsing op van twee groeperingen. In 1969 werd de eerste International Joint Conference on Artificial Intelligence gehouden. Vier jaar later al splitsten zich de afvalligen af: de International Joint Conference on Pattern Recognition, in 1973. Tot vandaag geldt deze vrij strakke scheiding tussen onderzoek naar machinaal redeneren en onderzoek naar machinale waarneming.

Er waren verschillende redenen van wetenschapsdynamische aard voor deze splitsing tussen de Kunstmatige Intelligentie en de Patroonherkenning, maar de belangrijkste is de volgende vraag: kan men bij het implementeren van intelligente systemen volstaan met het gebruik van logica of zijn er andere gereedschappen nodig, uit de statistiek, de meetkunde, de lineaire algebra, de signaaltheorie? De afvallige patroonherkenners, teleurgesteld in de mogelijkheden van de logica bij het modelleren van waarneming, hebben op veel punten gelijk gekregen, maar de prijs die werd betaald is zéér hoog. Hier kom ik later op terug.

Om te illustreren welk drama zich hier afspeelde zal ik enige voorbeelden geven uit de automatische herkenning van schrift. De herkenning van machinale drukletters is op dit moment geen groot probleem meer als het om een vlakke en scherpe beeldopname gaat. De automatische herkenning van handgeschreven tekst in een vrije stijl, zoals verbonden cursief schrift, is echter nog steeds een bijzondere uitdaging.

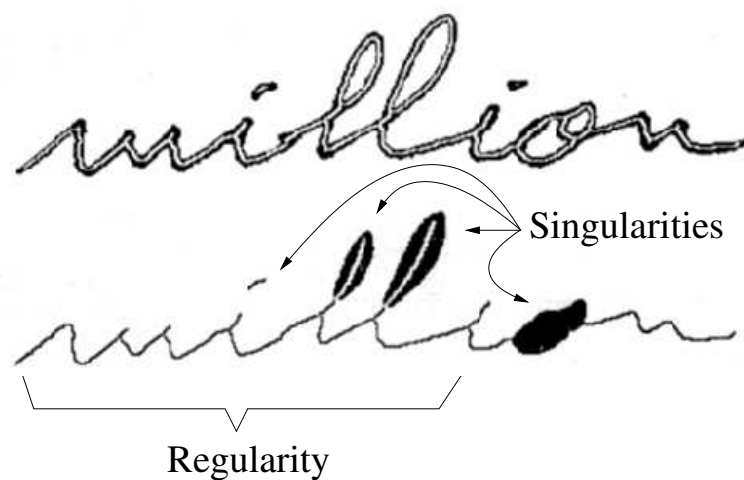


Figuur 2: Het woord *algebra* geschreven door acht schrijvers (de rijen) op elk vier tijdstippen (de kolommen).

Wij zien hier een aantal cursief geschreven woorden. Acht schrijvers (de rijen in de matrix) kwamen op vier in de tijd verspreide gelegenheden (de kolommen) naar het laboratorium om het woord *algebra* op te schrijven. Wat het eerst opvalt is het verschil in schrijfstijl tussen schrijvers. Daarnaast zien we dat er binnen een schrijver variabiliteit is van het schrijfproduct. Hoe moet men nu tewerkgaan om een algoritme voor de herkenning van de woorden op letterniveau te ontwikkelen?

In de beginjaren van de automatische schriftherkenning bestond het doel hierin, om op een abstract niveau topologische invarianten te identificeren die elke letter of elk woord uniek representeerden. De achterliggende hoop is dat de mathematische representatie zó algemeen geldig is dat een brede verzameling van schrijfwijzen uniek te herleiden is

tot een enkele klasse van abstracte patronen. Het zoeken naar dergelijke representaties, of vormkenmerken laat zich het best beschrijven als het zoeken naar de gouden graal. Veel van het onderzoek op dit gebied betreft arbitrair gekozen oplossingen, door de 'bouwers' onder ons. Er zijn echter ook pogingen gedaan om de keuze voor de kenmerken te laten bepalen door theorie. De ingenieurs gingen hiervoor aanvankelijk te rade bij de waarnemingspsychologie. Dit vakgebied bleek echter te zeer verwickeld in een wetenschapsdynamisch proces van zelfbedachte experimentele opstellingen en het voortborduren op eigen onderzoek om antwoord te kunnen geven op de vraag *op welke vormkenmerken de menselijke lezer van handschrift nu precies let*. Uit nood moesten de bouwers hier zelf met oplossingen komen. Een voorbeeld van een interessante theorie is die van de eminente Franse ingenieur prof. Jean-Claude Simon[†], een pionier op het gebied van patroonherkenning. Hij maakt een onderscheid tussen regelmatigheden en singulariteiten. Kijkend naar schrift en spraak, constateert hij dat deze signalen van menselijke oorsprong in essentie bestaan uit twee componenten: ten eerste een regelmatige grondvorm waaruit - ten tweede - een aantal opvallende elementen op specifieke tijdstippen en plaatsen uitsteekt. Voor de spraak komt dit onderscheid terug bij de klinkers, de langer durende periode waarin de stembanden een periodieke toon voortbrengen, met daartussenin de onderbrekingen, of singulariteiten, nl. de medeklinkers. Evenzo kan men bij het schrift onderscheid maken tussen een oscillerende hoofdas, waarbij op een aantal punten langs het schrijfspoor gemakkelijk te onderscheiden singulariteiten zijn te vinden: de onder- en bovenstokken, kruisingen, en andere topologisch unieke elementen.



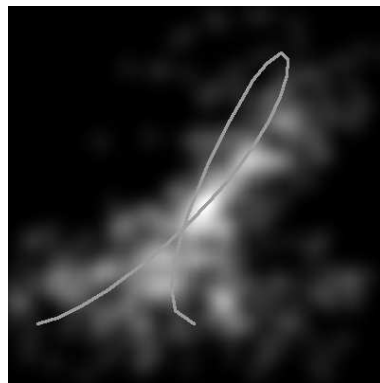
Figuur 3: Singulariteiten en regulariteiten in een cursief geschreven woord (Simon, 1991). De omsloten ruimten van de letters l en o zijn door een visueel systeem gemakkelijk te detecteren kenmerken: singulariteiten. De golvende hoofdas van het woord *million* is op zichzelf een niet zeer informatieve regulariteit, maar vormt een context voor de singulariteiten. Ook een punt op een letter vormt een singulariteit.

Uitgaande van de theorie van Simon, kan een stuk handgeschreven tekst worden uiteengerafeld in een grondvorm, die op zich weinig informatief is, en de opvallende singulariteiten. Met behulp van een symbolische beschrijving, een vormtentaal, wordt nu geprobeerd om elk woord weer te geven. Een zin in deze vormtentaal wordt geacht de onderliggende vorm van het woord uniek te beschrijven. De herkenning van handschrift

wordt vervolgens geïmplementeerd door een logische vergelijking tussen de symbolische expressie die een onbekend woord weergeeft, en de symbolische expressies die in een handmatige leerfase in het systeem zijn ingebouwd.

```
"million" ==> convex:concaaf:3(noord:concaaf)
                : (noord:LUS) : concaaf : (noord:LUS)
                : concaaf : noord : concaaf : HOLTE : 2 (convex : concaaf)
```

Later onderzoek in ons eigen laboratorium heeft uitgewezen dat de menselijke lezer van handschrift inderdaad bijzondere aandacht heeft voor singuliere elementen in het schrijfspoor, waaronder kruisingen.

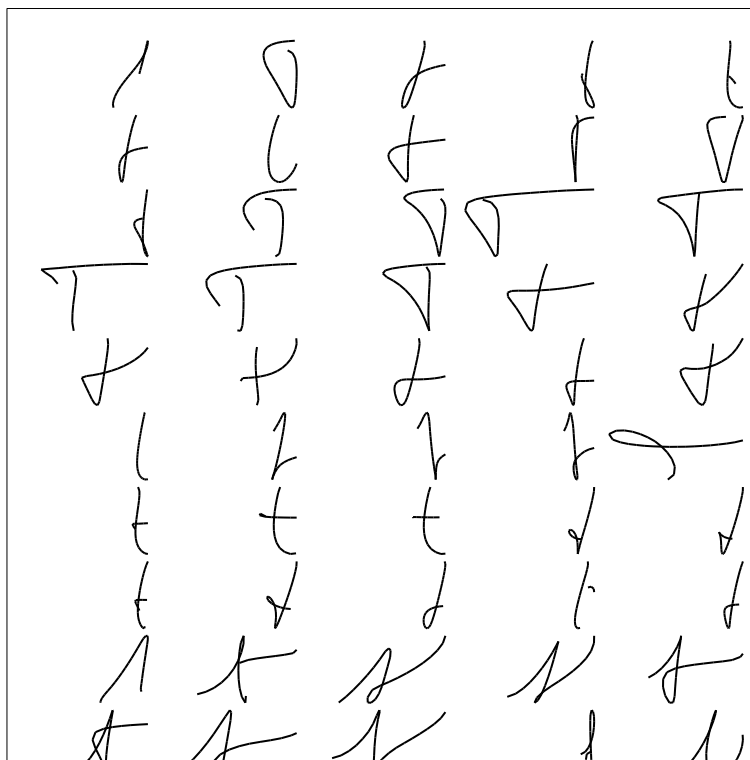


Figuur 4: Punten van selectieve aandacht bij de menselijke lezer van cursief handschrift (Schomaker & Segers, 1996). In dit voorbeeld trekken de kruisingen in het spoor van de letter *l* de aandacht van een onder tijdsdruk werkende lezer.

De theorie is elegant, de singulariteiten zijn algoritmisch gemakkelijk te detecteren. De zoekmethode zelf kost veel rekentijd maar is goed uitvoerbaar bij beperkte vormvariatie. Voor het schrift van een paar schrijvers, en uitgaande van een beperkt lexicon werkte de methode aardig*, zodat het idee ontstond om deze te gaan toepassen op de handgeschreven bedragen op de achterzijde van Franse bankcheques. De confrontatie met de realiteit was echter pijnlijk. De handschriften van 20 proefpersonen zijn namelijk volstrekt onvoldoende om ook maar enigszins te kunnen generaliseren naar de gehele populatie van schrijvers. Een schermvol symbolische beschrijvingen van het woord *million* zou slechts een fractie van de mogelijke varianten bevatten. De complexiteit van de woordbeschrijvingen voor alle mogelijk stijlen is fenomenaal, en de computationele belasting van het doorzoeken van de grote verzameling symbolische structuren wordt al snel te groot, ook voor computers van vandaag en volgend jaar. De menselijke patroongenerator blijkt in staat tot een bijna oneindige variatie van vormen in het platte vlak.

De volgende afbeelding geeft een idee van de variatie in schrijfwijzen (allografen) van individuele letters. Er is een willekeurige selectie gemaakt van letters "t".

*De woordklassificatie was 87% correct op de leerset, 60% op de testset, 25 woordklassen



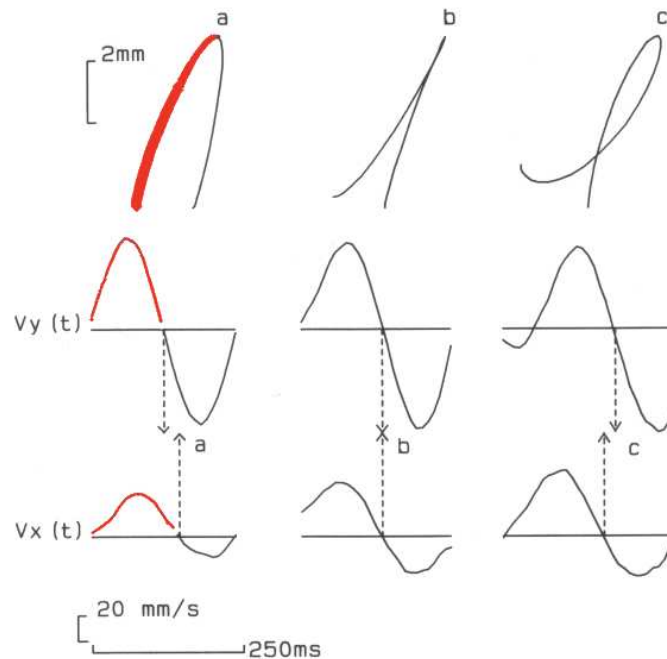
Figuur 5: Allografen voor de letter *t* (Vuurpijl & Schomaker, 1997)

Het kernprobleem van de logisch-symbolische benadering van patroonherkenning is echter dat de elementen uit de sensorische invoer in een zeer vroeg verwerkingsstadium als 'serieus' worden opgevat. Er wordt symbolische identiteit toegekend aan kleine vormonderdelen, terwijl er sprake is van onzekerheid en massale variatie. Eenmaal opgeworpen, neemt het symbool deel aan de formele operaties en kan niet worden genegeerd, ook al betreft het een spurieuze logische propositie. Ik stel daarom het volgende adagium voor: “**geen hinderlijker ruis dan symbolische ruis**”. Terwijl ruis in de signaaltheorie een hanteerbaar begrip is, bestaan er voor symbolische ruis geen goede filtermethoden. Symbolische ruis gedraagt zich bij het redeneren als kiezelstenen tussen de tandraden. De hier beschreven en andere ervaringen met de broosheid van de symbolische benadering van waarneming hebben ertoe geleid dat er naarstig gezocht werd naar andere wegen. Hiermee komen we op de tweede visie op patroonherkenning, een visie die de nadruk legt op meetkunde en statistiek. Of zoals de Nederlandse natuurkundige Koenderink (1990) het zei: “The Brain: (is) a geometry Engine”.

In de loop van de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw ontstond er een stroomversnelling in de patroonherkenning door de verdere ontwikkeling van de Markov-modellen, de neurale netwerken en de Bayesiaanse methoden. Het gaat te ver om al deze technieken hier in detail te behandelen. In essentie gaat het erom dat deze methoden, expliciet of impliciet, **statistisch** van aard zijn. In plaats van het opdringen van een op symbolische manipulatie gebaseerd formalisme, is het uitgangspunt het volgende: “Indien er sprake is van regelmaat in gegevens, dan **moet** er een algoritme bestaan dat deze regelmaat kan detecteren”. Dit credo werd enthousiast opgepikt door vele onderzoekers van mijn generatie. De volgende illustratie komt uit het onderzoeksgebied van de schriftherkenning.

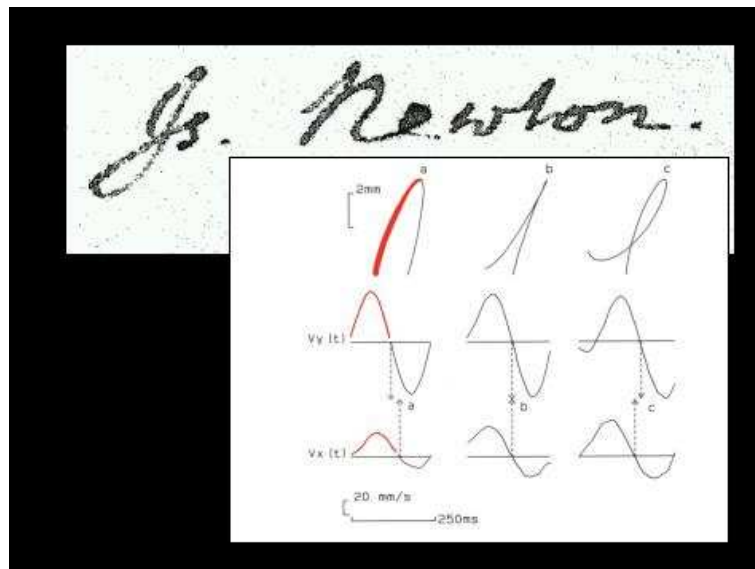
Uitgaande van een in de Nijmeegse Schrijfonderzoeksgroep ontwikkelde theorie over het

schrijfproces, kan men de beweging van de penpunt segmenteren in halen. Spectraalanalyse wijst op een sterke periodiciteit van de beweging, van 5 Hz. Berekening van de gemiddelde schrijfduur per haal wijst uit dat een enkelvoudige beweging in schrift wordt begrensd door minima in de schrijfsnelheid. Een modale haal in het schrijfproces duurt ongeveer 100 milliseconden. Het verticale snelheidspatroon van twee opeenvolgende halen benadert een volledige periode van een sinusoïde.



Figuur 6: Halendefinitie op basis van snelheid en faseverschil tussen horizontale en verticale snelheid. De drie hoofdvormen zijn hier gegeven (halen met buigpunten zijn een speciaal geval).

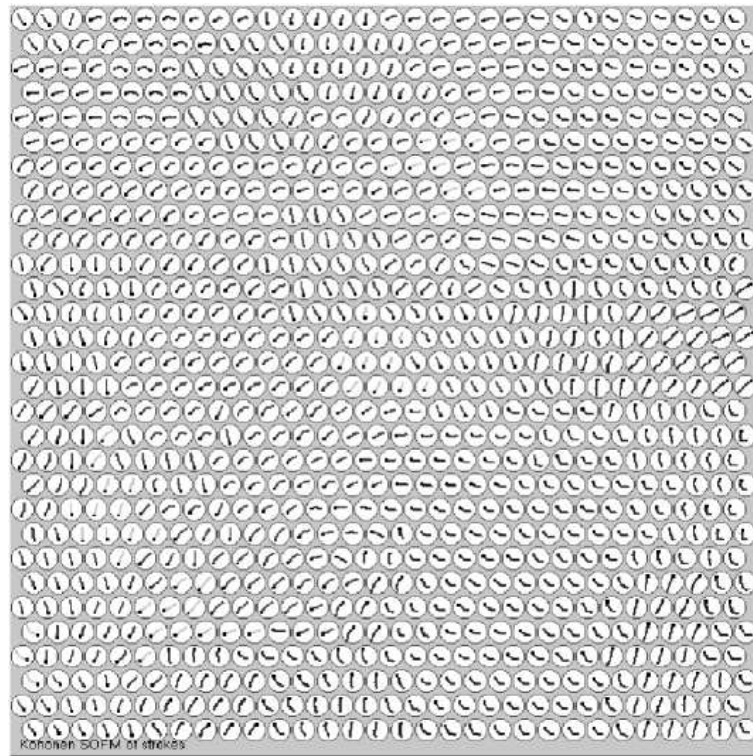
Gebruikmakend van lokale faseverschillen in de beweging voor de horizontale en verticale component, kan men het overgrote merendeel van de halen in schrift modelleren. De op dit gebied vergaarde kennis is momenteel zo groot, dat het mogelijk is, om met inachtneming van marges van onzekerheid, een onderbouwde schatting te maken van lokale snelheden en de volgorde van de schrijfbewegingen op basis van een afbeelding van een schrijfproduct, zoals de handtekeningen van Isaac Newton.



Figuur 7: De lokale temporele reconstructie van Newton's handtekening is op basis van bestaande theoretische kennis mogelijk, met redelijke schattingen van snelheid en volgorde.

Uitgaande van deze kennis over het schrijfproces, ontstond in de tweede helft van de jaren tachtig het idee om deze expertise te gaan gebruiken voor de herkenning van schrijfbewegingen, zoals die met een pen op een elektronisch tablet worden geproduceerd.

Na een aantal experimenten die vergelijkbaar zijn met de structurele kenmerkenmethode van prof. Simon, werd vermoed dat de toen zojuist in opgang komende neurale netwerkmodellen een oplossing konden bieden voor de problemen van variatie en variabiliteit in handschrift. Een krachtige methode die zeer fraai illustreert hoe men regelmaat in gegevens autonoom kan laten detecteren betreft een neuraal netwerkmodel dat is ontwikkeld door de Fin Teuvo Kohonen (1995). De Nederlandse benaming voor deze methode is "zelforganiserende kenmerkenkaart." In plaats van een symbolische ordening aan gegevens op te dringen, worden tienduizenden haaltjes automatisch uit handschrift van meerdere schrijvers geknipt en gepresenteerd aan een beperkte hoeveelheid cellen. Het doel is om een kaart met prototypische haaltjes te laten ontwikkelen, die de statistische structuur van de gegevensbrei zo goed mogelijk weergeeft.



Figuur 8: Een Kohonen zelforganiserende kaart met een halen-alfabet van handschrift. Door een overmaat van 30x30 cellen te gebruiken treedt er een vloeiend verloop van vormen op. Voor cursieve handschrijftherkenning is echter een aanzienlijk kleiner netwerk van 400 a 600 cellen voldoende (Schomaker, 1993).

Uitgaande van dit netwerk kan een geschreven woord worden gerepresenteerd als een pad dat wordt afgelegd in deze nieuwe, gequantiseerde ruimte. Er ontstaat aldus een transitiernetwerk dat als basis dient voor letter- en woordcompletering. Het resulterende systeem werkt, en is gedurende enige maanden gedemonstreerd op het Scription museum in Tilburg. Hoewel de prestaties ruim voldoende waren om de museumbezoekers te vermaken, blijft het een groot probleem om handschrift van een volkomen onbekende schrijver probleemloos te verwerken. Gebruikmakend van een arsenaal aan methoden wordt geprobeerd een zo breed mogelijke dekking van schrijfstijlen in het systeem onder te brengen.

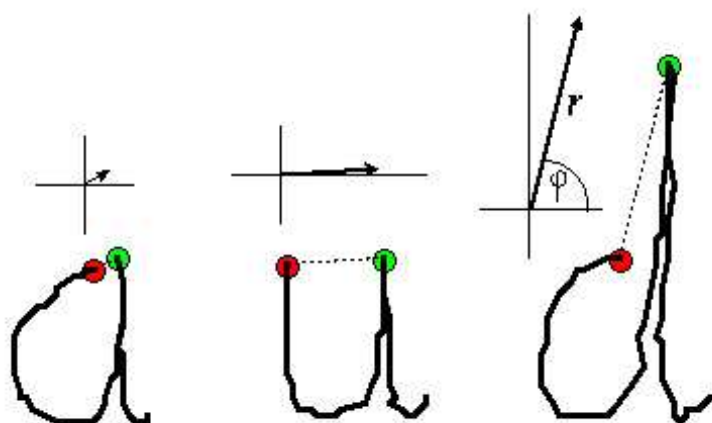
De gereedschapskist is momenteel rijk gevuld. Behalve de reeds genoemde Markovmodellen en neurale netwerken, is er inmiddels een krachtig gereedschap toegevoegd aan het arsenaal, de support-vector machine, ontwikkeld door Guyon, Vapnik en andere onderzoekers (1992) van het vroegere Bell Labs. Zelfs deze nieuwste, bijzonder krachtige klassificator, biedt echter geen oplossing van het probleem van lezende machines, in zijn algemeenheid. Hierbij dient te worden opgemerkt dat er in het onderzoek allang niet meer wordt gewerkt met speelgoedproblemen op basis van twintig schrijvers. In samenwerking met een groot aantal bedrijven en onderzoekslaboratoria hebben wij voor de 'on-line' schrijftherkenning op pen-gestuurde computers een bestand verzameld met meer dan 300000 losse woorden* en 450000 losse karakters door meer dan 1000 schrijvers. Hoewel dit weinig is in verhouding met soortgelijke publieke

*Meer dan 23000 verschillende woorden

bestanden voor spraakherkenning, is de diversiteit in schrijfvormen nu al zo groot dat het onderzoek wereldwijd slechts stap voor stap verder komt.

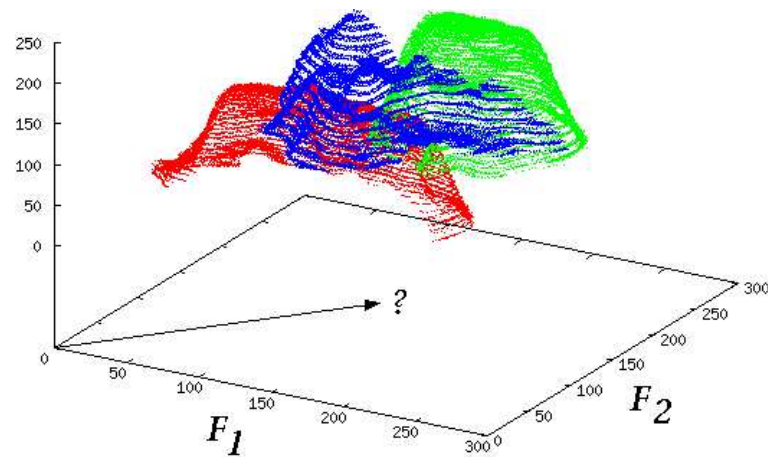
Ik zal een poging doen om te verduidelijken op welke plaatsen de schoen het pijnlijkst wringt. Een centraal probleem betreft de overgang van de metrische en geometrische wereld naar de wereld van de symbolen. Vanuit een hoogdimensionele representatie met sensorische gegevens vindt allereerst een selectie en projectie plaats naar een laagdimensionale kenmerksruimte. Deze transformatie is de eerste krachtige truc voor een patroonherkendend systeem binnen dit meetkundige paradigma. Als interessante bijkomstigheid is vermeldenswaard dat een dergelijke verwerkingsstap een klein kunstje is voor netwerken van biologische of kunstmatige neuronen.

Als vereenvoudigd voorbeeld nemen we de classificatie van een onbekende letter als behorend tot een van de drie klassen a , u en d . Laten wij hier de volgende twee kenmerken definiëren: F1, de hoek van het lijnstuk tussen het linker en rechter maximum van de letter, en F2, de lengte van dit lijnstuk.



Figuur 9: Bruikbare kenmerken voor het onderscheiden van de letters a , u en d : de hoek en lengte van de vector tussen het eerste en het tweede verticale extremum in het pen-traject. De twee waarden maken het mogelijk openheid/geslotenheid en de hoogte van de stok van de letter d te representeren.

Gebaseerd op zeventuizend voorbeelden van deze letters kan men de kansverdeling van de kenmerken bepalen: een berglandschap, hier met drie pieken, voor elke letter een bergtop.

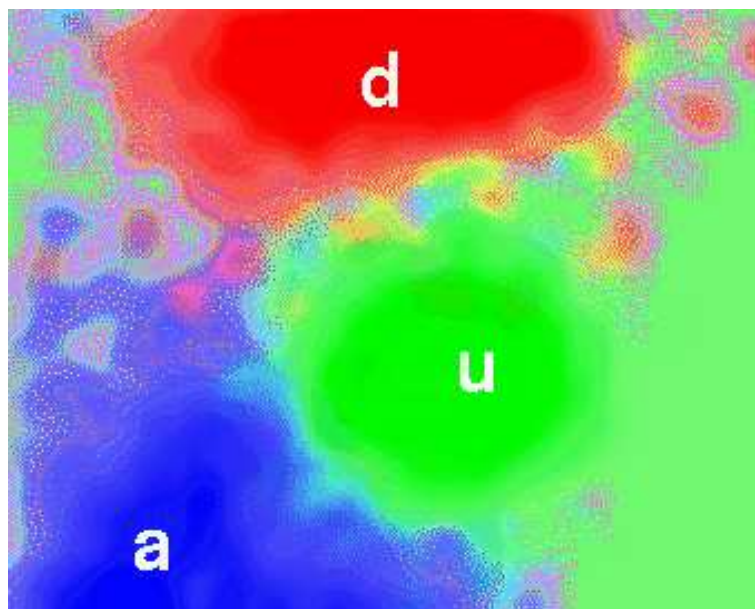


Figuur 10: De 2D kansverdeling van kenmerken $F_1 = \sin(\phi)$ en $F_2 = r$, gekleurd naar letterklasse. Zie ook Figuur 9. (arbitraire eenheden).

Echter, omdat de keuze voor een klasse consequenties heeft voor een autonoom opererend systeem in de reële wereld, moet het resulterende berglandschap ook nog worden gekneed door middel van een kosten/baten-evaluatie. Immers, misklassificatie heeft verschillende consequenties in verschillende contexten. Een gemiste valse handtekening heeft voor een bank nu eenmaal ernstiger consequenties dan de foute herkenning van een handgeschreven letter heeft voor de gebruiker van een handpalmcomputer. Het moduleren van de vorm van dit berglandschap op basis van een kostenevaluatie is de tweede krachtige meetkundige truc die mogelijk is binnen deze benadering.

Er is echter geen ontkomen aan: het doel van de geometrische exercitie in ons schriftherkenningsvoorbeeld is de toekenning van de onbekende vector aan één van drie letterklassen: a , u of d , op het niveau van de symbolen en de logica.

Er bestaan vele methoden die in staat zijn om een scheidingsvlak te vinden tussen deze drie klassen. De volgende illustratie geeft een idee van de klassenscheiding in deze tweedimensionale ruimte. Ook de identiteit van de klassen zal ik hier prijsgeven:



Figuur 11: De toekenning van letterklassen a , u en d op basis van de twee kenmerken r (x-as) en $\sin(\phi)$ (y-as). Op de grenzen tussen de klassen bevinden zich altijd problematische gevallen.

Ondanks de fraaie mogelijkheden van dit soort technieken is er een probleem. Met de keuze voor een klasse, is er de mogelijkheid van een foute klassificatie. We zien dat er zich op de grenzen van de klassen complexe patronen bevinden die een perfecte scheiding onmogelijk maken. Ook generaliseert het systeem, zodat uitspraken mogelijk zijn over kenmerkscombinaties die zich in de leergeschiedenis nooit hebben voorgedaan. Dit kan goed of slecht uitpakken. De essentie van het probleem is echter dat een eenmaal genomen keuze voor een symbool niet meer kan worden gemoduleerd door vorm- of kostenoverwegingen. *Geen hinderlijker ruis dan symbolische ruis*. Een foutieve beslissing wordt door alle volgende symbolische verwerkingslagen uiterst serieus en ongewogen meegenomen in een redeneerproces. Er bestaan geen “bijna-a”s of “bijna-u”s meer op het niveau van de logica.

Het volgende actuele voorbeeld maakt het probleem misschien nog wat duidelijker. Op een vliegveld zijn twee systemen geplaatst voor de detectie van wapens: een metaaldetector en een explosievendetector. Bij voldoende volume van het gezochte metaal geeft de metaaldetector een alarmsignaal af. Als er sprake is van een kritische, doch onderdrempelige metaalwaarneming mag het bagagestuk er natuurlijk door. Als er echter even later sprake is van een kritische en evenzeer onderdrempelige geurwaarneming door de explosievendetector, mag men hopen dat een intelligent systeem tóch alarm slaat.

De consequentie van dit alles is dat moderne systemen het nemen van harde beslissingen zo lang mogelijk moeten uitstellen in het verwerkingsproces. Tegelijkertijd echter is harde symbolische informatie de noodzakelijke grondstof voor krachtige redeneermechanismen. In de automatische schriftherkenning is het absoluut noodzakelijk om de lettervormen te interpreteren in het kader van een context met verwachtingen over de inhoud. Zo zijn beide *incommensurabilia*, de geometrie en de logica met elkaar in een krampachtige omarming, die met moeite in stand wordt gehouden door een leger van goedwillende systeembouwers en programmeurs. De

resultaten van dit hybride werk zijn echter behoorlijk star van aard. Voor elke nieuwe toepassing van schriftherkenning is er een immense hoeveelheid menselijke geestelijke arbeid nodig. De cijferherkenners die gebruikt worden door de banken en de adreslezers die gebruikt worden bij de post zijn volstrekt onbruikbaar voor het lezen van uw notities of voor het lezen van teksten in het straatbeeld met behulp van een camera. Soortgelijke problemen van vergelijkbare omvang doen zich overigens voor in de automatische herkenning van spraak. De autonome waarnemende en redenerende machine is nog steeds een droom.

Geachte toehoorders,

Op dit punt aangekomen, wil ik graag enige woorden wijden aan het totnutoe niet uitgesprokene. De inhoud van deze oratie is voornamelijk gewijd aan het onderzoek dat ikzelf met vele anderen in de afgelopen jaren heb mogen doen, de inzichten die ik graag met U wilde delen, en de nieuwe ideeën die langzaam gestalte krijgen. Geenszins is deze oratie een blauwdruk voor al het onderzoek aan ons prille onderzoeksinstituut ALICE: Artificial Intelligence and Cognitive Engineering. Van de onderzoeksprogramma's die wij gezamenlijk hebben opgezet, heb ik gesproken als trekker van het onderzoeksprogramma *Autonomous and Perceptive Systems*.

Een tweede onderzoeksprogramma heeft de titel *Cognitive Modeling* en wordt gedragen door Niels Taatgen. De modellering van menselijke cognitieve functies is een kernactiviteit van elk zich respecterend onderzoeksinstituut op het gebied van de Kunstmatige Intelligentie. De cognitieve modellering onderscheidt ons van de informatica, en het feit dat er werkende modellen worden gebouwd onderscheidt ons van de psychologie. Beste Niels, jouw inhoudelijke gedrevenheid en gewetensvolle houding in onderwijszaken zijn twee essentiële factoren geweest voor het succes van de opleiding TCW en Kunstmatige Intelligentie.

Het derde te noemen onderzoeksprogramma heet *Multi-Agent Systems* en staat onder de bezielende leiding van Rineke Verbrugge. Beste Rineke, het multi-agent onderzoek vanuit het perspectief van de epistemische logica is de kern van het huidige AI-onderzoek, en ik ben blij dat het ALICE instituut mag delen in jouw reputatie op dit gebied. Bovendien is het bijzonder nuttig voor een directeur onderzoek en onderwijs om met een logica scenario's van multi-agent onderhandeling door te nemen.

Een vierde thema betreft *Language, Speech & Cognition*, een gezamenlijk en kersvers initiatief van Petra Hendriks en Esther Wiersinga. Beste Petra, jouw onderzoek en onderwijs slaan een stevig brug naar de Taalkunde. Je bent, met Niels, een grondlegger van de opleiding TCW, jouw enthousiasme voor taal en cognitie werkt aanstekelijk in vele richtingen, en je favoriete Optimality theorie heeft vele toepassingsmogelijkheden waar we nog te weinig over hebben gepraat.

Beste collega's van de afdeling Kunstmatige Intelligentie, genoemde en nog niet genoemde.

Toen ik op 1 januari 2001 aantrad wist ik dat ik met een bijzondere club te maken had. Voor de binnenwacht was TCW een puberend koekoeksjong, voor mij als buitenstaander een succesvol en hecht, hardwerkend team. Als er al gevochten moest worden, dan was het niet binnenshuis maar met de burens. Nu, bijna twee jaar later, ben ik alleen nog maar gesterkt in mijn eerste indrukken, en hoop de geest van TCW te behouden gedurende de komende jaren die groei en verhuizing met zich mee zullen brengen. De natuurlijke integratie van alle nieuwe stafleden en AIO's geeft mij het volste vertrouwen dat dit ook

zal lukken. Ik beschouw het als een eer om met jullie te werken en ben dank verschuldigd voor het in mij gestelde vertrouwen.

Geachte medebeheerders van de afdeling Kunstmatige Intelligentie, Annemiek Puister, Anja Hazenberg, Ellen Offers en geachte leden van het ondersteunend personeel ook. Zonder jullie enthousiaste inzet waren wij, was ik nergens. Als kleine zelfstandige moet KI alles zelf doen, zeker nu we in een eigen gebouw zitten, aan groeistruipen onderhevig zijn en ook anderszins dynamisch van aard. Voor al die keren dat ik onvoldoende blijken van waardering gaf, wil ik jullie hier mijn bijzondere complimenten maken.

Geachte hoogleraren informatica, en prof. Gerard Renardel de Lavalette in het bijzonder, geachte hoogleraren psychologie, en prof. Ritske de Jong in het bijzonder, geachte prof. Diek Duifhuis en prof. John Nerbonne alsmede alle hoogleraren in de bevriende opleidingen en onderzoeksinstituten. Voor onze interdisciplinaire opleiding en ons onderzoeksinstituut acht ik een goede samenwerking met eenieder van U van het grootste belang. Dat al onze gezamenlijke ondernemingen mogen slagen!

Geachte Faculteitsbesturen PPSW en FWN, in het bijzonder Frank Vleeskens, Ida Grasdijk, Madelon de Wilde, leden van het College van Bestuur. U allen ben ik dank verschuldigd voor de ondersteuning van mijn afdeling in dynamische tijden. Ik hoop het in mij gestelde vertrouwen nog geruime tijd waar te maken.

Beste studenten. Jullie rol in dit alles lijkt beperkt maar dat is slechts schijn. Dat zal vooral blijken in de laatste fase van jullie studie, waarin duidelijk wordt in hoeverre wij als opleiding in staat zijn geweest om ons enthousiasme over te dragen. Het begeleiden van afstudeerders is een prachtige gelegenheid om nieuwe onderzoeksonderwerpen aan te boren. Maar niet alleen in wetenschappelijke zin spelen jullie een belangrijke rol voor KI. De inzet van onze studenten in de voorlichting en in de broodnodige sociale activiteiten is bijna spreekwoordelijk.

Beste oud-collega's, beste Louis in het bijzonder. Als ik goede dingen heb bereikt, dan is het, gedragen op de schouders van velen.

Lieve vader en moeder, jullie aanmoediging en brede interesses hebben de basis gelegd waarop ik altijd kon steunen.

Lieve Monica, lieve Judith. Waar zou ik zijn zonder jullie warmte? Geliefd werk en geliefde school moesten jullie voor me opgeven, ik sta diep in het krijt.

Ik heb gezegd.

Literatuur

- George Boole The Calculus of Logic The Cambridge and Dublin Mathematical Journal Vol III, 1848 pp. 183-198
- Guyon, I., Boser, B. & Vapnik, V.N. (1992). *A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers*, Proc. of the 5th annual workshop of computational learning theory, ACM, pp. 144–152.
- Koenderink, J.J. (1990). The brain a geometry engine. *Psychological Research*, 52, 122-127.
- Kohonen, T. (1995). *Self-Organizing Maps*, Springer Series in Information Sciences, Vol 30, Heidelberg: Springer.
- Schomaker, L.R.B. (1993). Using Stroke- or Character-based Self-organizing Maps in the Recognition of On-line, Connected Cursive Script. *Pattern Recognition*, 26(3), 443-450.
- Vuurpijl, L. & Schomaker, L. (1997). *Finding structure in diversity: A hierarchical clustering method for the categorization of allographs in handwriting*, Proceedings of the Fourth International Conference on Document Analysis and Recognition, Piscataway (NJ): IEEE Computer Society, p. 387-393. ISBN 981-02-3084-2