Expertise in Qualitative Prediction of Behaviour

Expertise in Qualitative Prediction of Behaviour

Kennis Betreffende Qualitatief Voorspellen van Gedrag

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

ter verkrijging van de graad doctor
aan de Universiteit van Amsterdam,
op gezag van de Rector Magnificus
Prof. dr. P.W.M. de Meijer
in het openbaar te verdedigen in de Aula der Universiteit
(Oude Lutherse Kerk, ingang Singel 411, hoek Spui),
op vrijdag 20 maart 1992 te 16.30 uur

door

Beert Bredeweg

geboren te Doornspijk

Promotor: Prof. dr. B.J. Wielinga

Faculty of Psychology

Printed by Elinkwijk BV
Cover design by Kadé

ISBN 90-9004962-2

Correspondence: P.O. box 2436, 1000 CK Amsterdam (The Netherlands)

Abstract

In this thesis we present a unified approach to qualitative prediction of behaviour, both as a knowledge level description and in terms of a detailed account of an implemented system that performs state of the art qualitative reasoning. The integrated framework is based on the three major approaches to qualitative reasoning: the component centred approach [57], the process centred approach [70], and the constraint centred approach [93].

Many researchers in the area of qualitative reasoning agree that there are similarities between these approaches, but little effort has been spent on uncovering what they are. The goal of the research presented in this thesis is to construct a theory of qualitative prediction of behaviour that encompasses the original approaches and that points out the essential conceptualisations of this problem solving task, thus enabling a better understanding of the similarities and differences between the original approaches.

We use the *KADS* methodology (cf. [141; 25; 144]) for building knowledge based systems as a method for unification. *KADS* distinguishes between a conceptual model which describes the problem solving expertise of an expert independently from a specific implementation, and a design model which describes how this problem solving potential can be realised in a computer program. *KADS* provides a framework for developing these models. Unification of the three approaches to qualitative prediction of behaviour is essentially accomplished by constructing a conceptual model of expertise for this problem solving task. The viability of the unified approach is shown by implementing a computer program that realises the problem solving potential specified in the model of expertise.

KADS distinguishes between four types of knowledge for constructing a conceptual model of expertise. The *domain* knowledge refers to the declarative domain specific knowledge. The *inference* knowledge specifies how the domain knowledge can be used for problem solving. It describes the *canonical* inferences (knowledge sources) used in the reasoning process, and points out the *role* (meta classes) the domain knowledge plays in this reasoning process. The *task* knowledge describes how the inference potential can be applied for realising problem solving goals. The *strategic* knowledge controls the overall reasoning process.

Applying the *KADS* methodology to qualitative prediction of behaviour extends previous approaches to this problem solving task by distinguishing between these four types of knowledge. This provides a frame of reference for comparing the original approaches on how they use these different types of knowledge.

At the domain layer the original approaches provide ontological primitives for modelling the domain specific knowledge. At the inference layer the following meta-classes can be pointed out: (1) system model description: a model that describes the real-world system during a period of time in which the behaviour of that system does not change, (2) system elements: abstractions from the real-world to which partial behaviour models apply, (3) parameters: properties of system elements, (4) parameter values: values of properties, (5) quantity spaces: an ordered set of values that a specific parameter can have, (6) parameters relations: dependencies between parameters, (7) qualitative calculi: semantics of a parameter relation, (8) mathematical models: a set of parameter relations that holds during a particular system model description, (9) partial behaviour models: small units representing partial behaviours which are assembled into larger models that represent the behaviour of some real-world system, (10) transformation rules: knowledge

about how to find successive system model descriptions (three types of rules have been identified: *termination*, *precedence* and *continuity*), and (11) behaviour descriptions: a set of system model descriptions ordered in time, representing the potential behaviour of a system.

The inferences that can be made on the basis of these meta-classes are *specification* and *transformation*. The purpose of the specification inference is to develop a 'complete' description of a particular state of behaviour. It can be decomposed into two other inferences that must be carried out, namely *assembling* a mathematical model and *computing* the parameter values and the consistency of the parameter relations within that mathematical model. The transformation inference is concerned with identifying successive states of behaviour and can be decomposed into *selecting* terminations, *sorting* terminations, and the actual *transformation* to a new state of behaviour.

In many ways the approach presented in this thesis extends each of the original approaches as a result of the integrated view. The notion of system model description, which is used in different ways in all three approaches, is extended to include a full description of the elements in the physical system, the partial behaviour models, the parameters, the parameter values and the parameter relations. This allows the use of powerful modelling techniques and heuristics for interpreting a physical situation.

The notions of view, qualitative state and process are unified and extended to a domain ontology for partial behaviour models that discriminates between static, process and agent models. Static models represent general properties of system elements. They can be further divided into single description, composition, and decomposition models, referring to modelling properties of a single system element, a collection of system elements or to how a system element can be decomposed into its sub-structure. Processes describe changes that are based on inequalities between interacting quantities of different system elements. Agent models are used for modelling changes that are caused by agents. As shown in a number of examples, each of these modelling primitives is an essential part of a qualitative model.

A third extension beyond earlier approaches concerns parameter values and parameter relations. The set of parameter relations provided by the integrated framework enables a broader functionality for specifying dependencies between parameters. In particular, we can use both directed (causal) and undirected (non-causal) dependencies between derivatives and between parameter values in a single behaviour model. In addition, the notions of directed and undirected quantity space correspondences and directed value correspondences are new. The introduction of different types of directed relations allows explicit representation of different kinds of causal dependencies between variables.

The assemble part of the specification inference uses a depth-first search algorithm for generating a full state of behaviour, which provides feedback on the applicability of partial behaviour models. For supporting the development of prediction models it is beneficial that the knowledge engineer can focus on, and interact with the prediction of a single state of behaviour. This appears to be more intuitive and therefore easier to handle than a breadth-first approach.

The inequality reasoning that realises a part of the computation inference has several advantages. It is more general, but still generates a manageable search space. The qualitative calculus, as originally proposed in [57; 93], exhibits spurious behaviour, especially with regard to conservation of quantities such as energy, flow, and force. Our method combines axioms for reasoning about transitivity and arithmetic summations and thereby avoids these problems. Furthermore, it enables the specification of quantity spaces containing any number of values.

The transformation inference can make use of domain independent transformation rules similar to those used in earlier approaches, but may also use rules that refer to domain specific knowledge. Of particular interest is the conceptual distinction made between *termination*, *precedence* and *continuity* rules. Each of these rules refers to a different type of knowledge used in the transformation inference. In qualitative reasoning the transformation step, in particular, tends to cause unmanageable branching of possible states of behaviour. In our approach this ambiguity is reduced by representing precedence knowledge for merging related transitions or filtering out undesired transitions. The distinction between finding terminations and then explicitly ordering them was not present in earlier approaches.

The task layer is used for representing typical chains of inferences that experts make in solving a particular, well-known task. In our framework, the task knowledge is organised such that all the states of behaviour are found that apply to, or follow from, a certain prediction problem (input system). When the input system specifies only a configuration of system elements, then this leads to generating all possible states of behaviour (total envisionment). When additional parameter values and parameter relations are added to this input system, then the behaviour prediction will be more directed, resulting in a more specific trace of behaviour (attainable envisionment).

Strategic knowledge, in the sense of the four-layer model, is not present in the original approaches to qualitative reasoning. The approaches always execute the same task structure, are not able to monitor their own inference process, and as such are not able to modify or change their own reasoning process. In the integrated framework two solutions to this problem have been realised. Firstly, the task layer is accessible by the user. In this way the user can decide to give control to the prediction engine (resulting in full autonomous execution of the task), or the user can decide to control the prediction by him- or herself and manipulate the prediction engine such that a required trace of behaviour is derived. Secondly, in our research on reflection (cf. [121; 101]) we explore the possibilities of operationalising the strategic layer and propose an initial step towards competence assessment and competence improvement. It turns out that impasses in the problem solving process can be identified and described with one of the three basic conflicts: *inconsistent*, *missing*, and *irrelevant* knowledge. In addition, we discussed how remedies can be used to aid competence improvement. In particular, we presented algorithms for improving the problem solving behaviour by removing irrelevant parameters and irrelevant states of behaviour from the behaviour description.

An important objective of the *KADS* methodology is supporting the knowledge acquisition processes by providing general descriptions of problem solving tasks [26]. These descriptions are called interpretation models. Unification of the three main approaches to qualitative reasoning enhances the *KADS* library of interpretation models, because it delivers such a model for qualitative prediction of behaviour.

The design and implementation of the model of expertise resulted in a domain independent reasoning shell, called *GARP*, which allows a knowledge engineer to quickly prototype prediction models. After providing *GARP* with the domain specific knowledge an engineer can run the program and analyse the predicted behaviour. The solutions generated by *GARP* provide guidelines for focusing the knowledge acquisition process on gathering the additional knowledge needed for optimising and finalising the prediction model. Moreover, the task and strategic layers are implemented such that they allow the user to interact directly with the prediction process. This makes it possible to tune the behaviour predicted by *GARP* in such a way that it traverses those paths that are of most interest for the knowledge acquisition process. The choices that have to be made by a knowledge engineer provide a focus for where additional strategic knowledge is required in the prediction model.

Finally, we present a protocol analysis of human problem solving behaviour that supports the cognitive plausibility hypothesis of the unified framework for qualitative prediction of behaviour and thereby its utility for knowledge acquisition. The conceptual framework underlying the design and implementation of *GARP* appears to be useful for describing and interpreting the reasoning processes observed by students who predicted the behaviour of complex balance problems. Both the different viewpoints subjects have on the domain knowledge as well as their reasoning process can easily be modelled by the framework. In particular, the canonical inferences and the meta-classes defined in the model provide a strong means for interpreting the steps of the reasoning process in the protocols. It is therefore fair to conclude that the conceptual model presented for qualitative prediction of behaviour does describe this problem solving task at the right level of abstraction, i.e. it constitutes a psychologically plausible knowledge level model of this problem solving expertise.

Samenvatting

In dit proefschrift presenteren wij een geïntegreerde aanpak voor qualitatief voorspellen van gedrag welke gebaseerd is op de drie belangrijkste aanpakken voor qualitatief redeneren: de component gerichte aanpak [57], de proces gerichte aanpak [70] en de constraint gerichte aanpak [93].

Veel onderzoekers op het gebied van qualitatief redeneren zijn van mening dat er overeenkomsten zijn tussen de drie basisaanpakken, maar tot op heden is er weinig onderzoek gedaan om vast te stellen wat deze zijn. Het doel van het onderzoek dat beschreven is in dit proefschrift is het construeren van een theorie voor qualitatief voorspellen van gedrag welke de oorspronkelijke aanpakken omvat en tevens de essentiële conceptualisaties van deze probleemoplostaak aangeeft, zodat een beter begrip wordt verkregen van de overeenkomsten en de verschillen tussen de oorspronkelijke aanpakken.

Wij gebruiken de *KADS* methodologie (cf. [141; 25; 144]) voor het bouwen van kennisgebaseerde systemen als een methode voor unificatie. *KADS* maakt onderscheid tussen een conceptueel model, dat de probleemoploskennis van een expert beschrijft onafhankelijk van een specifieke implementatie, en een ontwerp model, dat beschrijft hoe de probleemoploskennis kan worden gerealiseerd in een computerprogramma.

KADS maakt onderscheid tussen vier typen kennis voor het construeren van een conceptueel model. De *domeinkennis* refereert naar een declaratieve beschrijving van de domain specifieke kennis. De *inferentiekennis* specificeert hoe de domeinkennis kan worden gebruikt voor probleemoplossen. Het beschrijft de *canonieke* inferenties (kennisbronnen) van het redeneerproces, en geeft aan welke *rollen* (metaklassen) de domeinkennis heeft in dit redeneerproces. De *taakkennis* beschrijft hoe de inferentiecapaciteit kan worden aangewend voor het realiseren van probleemoplosdoelen. De *strategiekennis* controleert het redeneerproces als geheel.

Het toepassen van de *KADS* methodologie op qualitatief voorspellen van gedrag breidt de voorafgaande aanpakken uit door een onderscheid te maken tussen deze vier typen kennis. Dit levert een referentiekader voor het vergelijken van die oorspronkelijke aanpakken met betrekking tot hoe zij deze vier typen kennis gebruiken.

De oorspronkelijke aanpakken leveren ontologische primitieven voor het modelleren van domein specifieke kennis. De metaklassen die vervolgens op het inferentie niveau kunnen worden onderscheiden zijn: (1) systeemmodel beschrijving: een model dat een systeem uit de 'echte' wereld beschrijft gedurende een periode waarin het gedrag van het systeem niet veranderd, (2) systeemelementen: abstracties van entiteiten uit de 'echte' wereld, (3) parameters: eigenschappen van systeemelementen, (4) parameterwaarden: waarden van eigenschappen, (5) quantiteitsruimten: een geordende verzameling van waarden die een bepaalde parameter kan aannemen, (6) parameterrelaties: afhankelijkheden tussen parameters, (7) qualitatieve calculi: semantiek van parameterrelaties, (8) mathematische modellen: een verzameling parameterrelaties die van toepassing zijn binnen een bepaalde systeemmodel beschrijving, (9) partiële gedragsmodellen: kleine eenheden die het gedrag van systeemelementen beschrijven en welke worden samengevoegd teneinde het gedrag van het systeem als geheel te kunnen afleiden, (10) transformatieregels: kennis over hoe opeenvolgende systeemmodel beschrijvingen kunnen worden bepaald (er zijn drie typen regels vastgesteld: terminatie-, ordenings- en continuïteitsregels), (11) gedragsbeschrijvingen: een verzameling van in de tijd geordende systeemmodel beschrijvingen, die het

mogelijke gedrag van een systeem beschrijven.

De inferenties die gemaakt kunnen worden op basis van deze metaklassen zijn *specificatie* en *transformatie*. Het doel van de specificatie is het realiseren van een 'complete' beschrijving van een bepaalde gedragstoestand. Deze inferentie kan worden gedecomponeerd in twee andere inferenties, namelijk het *assembleren* van een mathematisch model en het *berekenen* van parameterwaarden en de consistentie tussen de parameterrelaties van het mathematische model. De transformatie inferentie is verantwoordelijk voor het vaststellen van de opeenvolgende gedragstoestanden en kan worden gedecomponeerd in het *selecteren* van terminaties, het *sorteren* van terminaties, en het daadwerkelijk *transformeren* van de huidige gedragstoestand naar een volgende gedragstoestand.

De in dit proefschrift gepresenteerde aanpak breidt de oorspronkelijke aanpakken op een aantal punten uit. De notie van systeemmodel beschrijving, welke in alle drie de aanpakken anders wordt gebruikt, is uitgebreid met een volledige beschrijving van de elementen van het fysische systeem, de partiële gedragsmodellen, de parameters, de parameterwaarden en de parameterrelaties. Dit faciliteert een krachtig gebruik van modelleertechnieken en heuristieken voor het interpreteren van een fysieke situatie.

De notie van 'view', 'qualitative state' en 'process' zijn samengevoegd in een domain ontologie voor partiële gedragsmodellen die een onderscheid maakt tussen statische, proces en agent modellen. De statische modellen representeren algemene eigenschappen van systeemelementen en kunnen worden onderverdeeld in enkelvoudige, compositie en decompositie modellen, welke respectievelijk verwijzen naar het modelleren van de eigenschappen van één systeemelement, een configuratie van systeemelementen en hoe een systeem kan worden gedecomponeerd in een onderliggende structuur. Processen beschrijven veranderingen die gebaseerd zijn op ongelijkheden tussen interacterende quantiteiten van verschillende systeemelementen. Agent modellen worden gebruikt voor het modelleren van veranderingen die veroorzaakt worden door externe factoren. Aan de hand van een aantal voorbeelden wordt uiteengezet dat ieder van deze modellen een essentieel onderdeel vormt van een qualitatief gedragsmodel.

Een derde uitbreiding betreft de parameterwaarden en de parameterrelaties. De verzameling parameterrelaties die beschikbaar zijn binnen het geïntegreerde raamwerk faciliteren een bredere functionaliteit voor het specificeren van afhankelijkheden tussen parameters. In het bijzonder, kunnen zowel gerichte (causale) als niet-gerichte (niet-causale) afhankelijkheden tussen afgeleiden, en tussen parameterwaarden, worden gedefinieerd in één gedragsmodel. Verder is de notie van gerichte en 'niet-gerichte quantiteitsruimte correspondenties' en van 'gerichte waarde correspondenties' nieuw. De introductie van verschillende vormen van gerichte relaties maakt het mogelijk om verschillende vormen van causale afhankelijkheden tussen parameters te definiëren.

Het assembleer gedeelte van de specificatie inferentie maakt gebruik van een diepte-eerst zoekalgoritme voor het genereren van een gedragstoestand en geeft informatie over de toepasbaarheid van de afzonderlijke partiële gedragsmodellen. Voor het ontwikkelen van een qualitatief gedragsmodel is het van belang dat de kennisingenieur zich kan richten op en interacteren met een enkelvoudige gedragstoestand. Dit blijkt intuïtiever en daardoor gemakkelijker in het gebruik dan een breedte-eerst aanpak.

Het redeneren met ongelijkheden hetgeen een deel van de 'bereken' inferentie realiseert, heeft een aantal voordelen. Het is algemener, maar genereert toch een controleerbare zoekruimte. De qualitatieve calculus, zoals die aanvankelijk is voor gesteld in [57; 93], functioneert in sommige gevallen niet correct, met name met betrekking tot conservatie van quantiteiten zoals energie, stroming en krachten. De door ons voorgestelde methode combineert axioma's voor redeneren over transitiviteit en rekenkundige optellingen en voorkomt daarmee deze problemen. Bovendien maakt deze methode het mogelijk om quantiteitsruimten te definiëren met een willekeurig aantal waarden.

De transformatie inferentie kan gebruik maken domein onafhankelijke transformatieregels, vergelijkbaar met diegene die worden gebruikt in de oorspronkelijke aanpakken, maar mag ook regels gebruiken die domein specifieke kennis bevatten. Van bijzonder belang is het conceptuele onderscheid tussen terminatie-, ordenings- en continuïteitsregels. Elk van deze regels refereert naar een ander type kennis dat wordt gebruikt bij de transformatie inferentie. Bij qualitatief redeneren veroorzaakt de transformatiestap meestal veel niet goed te controleren overgangen naar nieuwe gedragstoestanden. In onze aanpak wordt dit probleem ondervangen dankzij het gebruik van ordeningskennis voor het samenvoegen van gerelateerde overgangen en het verwijderen van niet wenselijke overgangen. Het onderscheid tussen het vinden van terminaties en het vervolgens expliciet ordenen van deze, was niet aanwezig in de oorspronkelijke aanpakken.

De taaklaag wordt gebruikt voor het representeren van typische opeenvolging van inferenties die experts gebruiken bij het oplossen van een bepaalde (routine) taak. De taakkennis is in onze aanpak zodanig georganiseerd dat alle gedragstoestanden worden gevonden die van toepassing zijn op een bepaald voorspellingsprobleem ('input' systeem). Wanneer dit probleem alleen bestaat uit een configuratie van systeemelementen, dan zal dit leiden tot een voorspelling van alle mogelijke gedragingen van het systeem ('total envisionment'). Wanneer echter extra parameterwaarden en parameterrelaties worden gespecificeerd, dan wordt de gedragsvoorspelling meer gefocusseerd, hetgeen resulteert in een specifiekere verzameling van mogelijke gedragingen ('attainable envisionment').

Strategisch redeneren, zoals bedoeld in het vier-lagen model, is niet aanwezig in de oorspronkelijke aanpakken voor qualitatief redeneren. De aanpakken gebruiken altijd een vaste taakstructuur, zijn niet in staat om hun eigen inferentieproces te observeren, en als zodanig niet in staat om hun eigen probleemoplosgedrag aan te passen of te veranderen. In het geïntegreerde raamwerk zijn twee oplossingen voor dit probleem gerealiseerd. Ten eerste is de taaklaag toegankelijk voor de gebruiker. Op deze manier kan de gebruiker besluiten om de controle aan de voorspeller te geven (resulterend in een volledig automatische uitvoering van de taak), of de gebruiker kan besluiten de voorspeller te blijven controleren en deze zodanig te sturen dat een gewenste gedragsvoorspelling wordt verkregen. Ten tweede verkennen wij in ons onderzoek naar reflectie (cf. [121; 101]) de mogelijkheden tot het operationaliseren van de strategielaag als een eerste stap op weg naar vaardigheidsinschatting ('competence assessment') en vaardigheidsverbetering ('competence improvement'). Het blijkt dat problemen bij het probleemoplossingsproces kunnen worden geïdentificeerd met behulp van drie basis conflicten: *inconsistente*, *ontbrekende* en *onbelangrijke* kennis. In het bijzonder presenteren wij algoritmen voor het verbeteren van de probleemoploscapaciteit door het verwijderen van onbelangrijke parameters en onbelangrijke gedragstoestanden van de gedragsbeschrijving.

Een belangrijk doel van de *KADS* methodologie is het ondersteunen van het kennisacquisitieproces middels het aanbieden van algemene beschrijvingen van probleemoplostaken [26]. Deze beschrijvingen worden interpretatiemodellen genoemd. Unificatie van de drie belangrijkste aanpakken voor qualitatief redeneren verreikt de *KADS* bibliotheek van interpretatiemodellen, omdat het een dergelijk model oplevert voor qualitatief voorspellen van gedrag.

De implementatie van het interpretatie model resulteerde in een domein onafhankelijke redeneer 'shell', genaamd *GARP*, welke een kennisingenieur in staat stelt om relatief snel prototypen te ontwikkelen. Nadat *GARP* voorzien is van de domein specifieke kennis kan de ingenieur het programma laten werken en het voorspelde gedrag analyseren. De oplossingen die door *GARP* worden gegenereert, leveren richtlijnen op voor het acquisitieproces met betrekking tot waar extra kennis nodig is voor het optimaliseren en afwerken van het voorspellingsmodel. Bovendien zijn de taaklaag en de strategielaag zodanig geïmplementeerd dat ze de gebruiker in staat stellen om direkt te interacteren met het voorspellingsproces. Dit maakt het mogelijk om het gedrag dat *GARP* voorspelt zodanig bij te sturen dat er een voor het kennisacquisitieproces interessant pad van gedragingen wordt gegenereerd. Elke keuze die de kennisingenieur in dit verband maakt, levert een richtlijn op betreffende de extra kennis die in het voorspellingsmodel noodzakelijk is.

Tenslotte presenteren wij een protocolanalyse van menselijk probleemoplosgedrag die de cognitieve aannemelijkheidshypothese van het geïntegreerde raamwerk voor qualitatief voorspellen van gedrag ondersteund en daarmee het nut van het raamwerk voor kennisacquisitie. Het conceptuele raamwerk dat ten grondslag ligt aan het ontwerp en de implementatie van *GARP* blijkt zeer geschikt te zijn voor het beschrijven en het interpreteren van redeneerprocessen die werden geobserveerd bij studenten die het gedrag moesten voorspellen van een complexe configuratie van balansen. Zowel de verschillende gezichtspunten die studenten op de domeinkenis hadden alsmede hun redeneerstappen konden goed door het raamwerk worden gemodelleerd. In het bijzonder bleken de canonische inferenties en de metaklassen sterke mechanismen voor het interpreteren van redeneerstappen in de protocollen. Het is dan ook gerechtvaardigd om te concluderen dat het conceptuele model zoals dat in dit proefschrift wordt gepresenteerd voor qualitatief voorspellen van gedrag, deze probleemoplostaak beschrijft op het juiste niveau van abstractie, dat wil zeggen het betreft hier een psychologisch aannemelijk kennis niveau model van deze probleemoploskennis.

Contents

Preface

This thesis could not have been written without the help of many people. Often their contribution was accepted without sufficient expression of gratitude from my side. Inexcusable of course, but what else can you expect from someone who was born in the countryside.

I got much out of the discussions and collaborations with students. My thoughts go back to Peter Diesveld and Zeger Karssen who had to work with the very first implementation of *GARP*, and to David de Klerk who worked on a model of a refrigerator. In particular, I want to thank Martin Reinders for reimplementing a large part of *GARP* and Cis Schut for his work on the cognitive aspects of the research. I also want to thank Cis for proofreading this thesis.

My thanks goes to all the colleagues with whom I worked. Special mention goes to Erik Breuker who joined us only for a short while, but who was inspiring and always ready for a discussion. Admiration goes to Frank van Harmelen and John Balder because they could show me formulae that I will probably never understand. In particular, I want to thank Radboud Winkels for helping me to get on the right track.

I am very grateful for the help that I got from my promotor Bob Wielinga. For always pointing out the other side of the argument and for giving up his free Sunday afternoons, but most of all for providing me with the opportunity to do the research that is presented in this thesis.

Sometimes, when you have given up hope, there are the people who provide you with just that extra bit of spirit that you need to go on, often without them realising that they do so. Two of those have been Hans Voß and Joost Breuker.

Lynda Hardman provided many useful comments on my broken English. This was much appreciated!

Amsterdam, February 7, 1992.
Bert Bredeweg