

Situated representation

Citation for published version (APA):

van Dartel, M. F. (2005). *Situated representation*. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht.

Document status and date:

Published: 01/01/2005

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

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

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Summary

The notion of representation is well-defined within the traditional computational theory of mind. However, in the relatively novel theory of situated cognition this is not the case. The focus of this thesis is on the nature of representation in situated systems, i.e., situated representation.

In the first chapter the problem concerning situated representation is outlined. The chapter indicates that the cognitive sciences are in need of an operationalisation of the notion of situated representation. To investigate a possible realisation of such an operationalisation the following problem statement is formulated: what is the nature of representation in situated systems? Subsequently, two research questions are formulated to investigate the problem statement: (i) to what extent can we identify where the knowledge resides that is used by a situated system to solve a certain task? and (ii) how is this knowledge accessed and used by a situated system when solving a certain task? Furthermore, in this chapter, the methodology of our investigation is described in terms of five conditions for models of cognition (situatedness, embodiment, cognition, parsimony, and transparency) and a short outline of the three models applied in the thesis (a robot model of active categorical perception, a robot model of the Tower of London task, and a robot model of foraging) is given.

The second chapter provides background information. It elaborates on representation issues in situated systems and on the two types of representation that such systems use, internal representation and external representation. This elaboration guides the empirical study of situated representation in artificial systems in the third, fourth, and fifth chapter.

In the third chapter, the behaviour of robots in a simple model of active categorical perception is examined. The effective sensorimotor mapping of optimised situated robots clarifies the notion of situated representation. The model provides a unique opportunity to study situated representations, because the perceptual ambiguity in the model forces successful situated robots to represent adequately the information they need to perform a given task. The findings obtained by employing the active categorical perception model and the subsequent analyses lead us to four conclusions: (i) reactive robots can cope with perceptual ambiguity in the context of active categorical perception, (ii) reactive robots can organise their behaviour according to sensory stimuli that are no longer present using the environment as

an external memory, (iii) reactive robots incorporating a non-linear sensorimotor mapping are better capable of dealing with perceptual ambiguity in an active categorical perception task than those incorporating a linear mapping, and (iv) sensory state-transition diagrams provide insight into the behavioural strategies employed by reactive robots to deal with perceptual ambiguity and their use of the environment as an external memory. Moreover, the findings obtained by employing the active categorical perception model and the subsequent analysis demonstrate that representation in situated systems can be internal and/or external. This indicates that the operationalisation of the notion of situated representation should allow internal representation and external representation.

The fourth chapter studies the nature of internal representation. Internal representation is often associated with planning in symbol manipulation tasks. In order to study the nature of internal representation, in this chapter we investigate representation in a situated robot model of a typical planning task that requires symbol manipulation, the Tower of London task. The results obtained with the situated Tower of London model and the subsequent analyses lead us to conclude that the ability to perform (situated) symbol manipulation by internal simulation of perception and behaviour allows the robot to plan ahead in time. Our second conclusion is that representation of both the current and future states of the environment occurs through the mapping of sensor-array activations to actions. For the current state the activation is received from the environment and for the future state the activation is received from the internally generated expected state. The two conclusions indicate that in order to operationalise situated internal representation, the operationalisation should allow internal simulation of perception and behaviour.

The fifth chapter studies the nature of external representation of a situated robot performing a foraging task in a stochastic environment. In order to investigate how the externally represented knowledge is accessed and used by the situated robot, we analyse the robot-environment interaction in the situated model of foraging by two different types of analysis (microscopic and macroscopic). The analyses of the results obtained with the situated model of foraging lead us to three conclusions: (i) macroscopic analysis may predict a universal property that can be explained at the microscopic level by microscopic analysis, (ii) macroscopic analysis may complement microscopic analysis in the study of adaptive behaviour, and (iii) macroscopic analysis may be preferred over microscopic analysis, owing to its power to reveal universal properties. Moreover, the experiment with the situated model of foraging and both the analyses show that external representation may reside in the average properties of the interaction with the environment. Robots in the model of foraging do not represent individual food elements (or their physical locations) by element-specific interaction, but represent the uniform distribution of those food elements in their average interaction with the environment. These findings indicate that in order to incorporate external representation into the operationalisation of the notion of situated representation, the operationalisation should allow representation by the average interaction with the environment.

The sixth chapter combines the results of the three investigations reported in the

preceding chapters. On the basis of these investigations we formulate a new operationalisation of the notion of representation. The new operationalisation holds that for an entity to be adequately represented by a system, it is implied that the system is able to perform and/or simulate internally the entity-specific interaction with the environment. Four advantages of the new operationalisation over its non-situated counterpart are discussed, these advantages concern: (i) external representation and internal representation, (ii) the representation debate, (iii) situated accounts of cognition and awareness, and (iv) the symbol grounding problem. Thereafter, the two operationalisations are related to each other, from which we arrive at the belief that the operationalisation of non-situated representation should be replaced by the new operationalisation. Furthermore, in this chapter, a discussion on the possible implications of the new operationalisation indicates that the new operationalisation may have implications for the fields of artificial intelligence, cognitive neuroscience, and cognitive psychology.

In the seventh chapter we answer the research questions formulated in the first chapter by stating that: (1) we can identify where the knowledge resides that is used by a situated system to solve a certain task to the extent that we can reveal the coordination between the sensory and motor system(s) of a system and relate it to the environmental dynamics, and (2) the knowledge which a situated system uses to solve a certain task is accessed and used by:

- (i) exploiting the attractors in the interaction with the environment (chapter 3),
- (ii) simulating interaction with the environment internally (chapter 4), and
- (iii) exploiting the average properties of the interaction with the environment (chapter 5).

Furthermore, in the seventh chapter, we answer the problem statement formulated in the first chapter by stating that in emphasising the role of interaction for cognition in the theory of situated cognition the operationalisation of situated representation is essential. We conclude by stating that, in a situated system, representation is as strongly rooted in the environment as the system itself, i.e., *representation is situated in nature*.

Samenvatting

De notie van representatie kent een heldere definitie in de traditionele ‘computational theory of mind’. De relatief nieuwe ‘theory of situated cognition’ ontbeert een heldere definitie van representatie. Dit proefschrift richt zich op de aard van representatie in gesitueerde systemen.

In het eerste hoofdstuk wordt het probleem van gesitueerde representatie aan de orde gesteld. Het hoofdstuk geeft aan dat de cognitiewetenschappen een operationalisatie van de notie van gesitueerde representatie behoeft. Om een dergelijke operationalisatie op zijn mogelijkheden te onderzoeken wordt de volgende probleemstelling geformuleerd: wat is de aard van representatie in gesitueerde systemen? Vervolgens worden er twee onderzoeksvragen geformuleerd om de probleemstelling te bestuderen: (i) in hoeverre kan worden geïdentificeerd waar de kennis wordt gerepresenteerd die gesitueerde systemen gebruiken om een bepaalde taak uit te voeren? en (ii) hoe wordt deze kennis benaderd en gebruikt door een gesitueerd systeem bij het uitvoeren van een bepaalde taak? Tevens wordt in dit hoofdstuk de methodologie van het onderzoek beschreven in termen van vijf condities voor modellen van cognitie (‘situatedness’, ‘embodiment’, ‘cognition’, ‘parsimony’, and ‘transparency’) en wordt een korte schets gegeven van de drie modellen die in dit proefschrift worden toegepast (een robotmodel van actieve categorische perceptie, een robotmodel van de ‘Tower of London’ taak en een robotmodel van foerageergedrag).

Het tweede hoofdstuk geeft achtergrondinformatie bij de in het eerste hoofdstuk geformuleerde probleemstelling. Het hoofdstuk beschrijft uitvoerig wat representatie in gesitueerde systemen is en vermeldt twee typen representatie die door dergelijke systemen worden gebruikt, interne en externe representatie. De beschrijving geeft aan waarop het empirisch onderzoek naar gesitueerde representatie in kunstmatige systemen zich zal richten in het derde, vierde en vijfde hoofdstuk.

In het derde hoofdstuk wordt het gedrag van robots in een eenvoudig model van actieve categorische perceptie bestudeerd. De perceptuele ambiguïteit vereist dat robots acties uitvoeren om de objecten te kunnen classificeren. De effectieve koppeling tussen de sensoren en de actuatoren van geoptimaliseerde robots verheldert de notie van gesitueerde representatie. De bevindingen verkregen uit het model van actieve categorische perceptie en de daaropvolgende analyses leiden tot de volgende vier conclusies: (i) reactieve robots kunnen omgaan met perceptuele ambiguïteit in een actieve categorische perceptietaak, (ii) reactieve robots zijn in staat om gedrag te

organiseren aan de hand van stimuli die niet langer aanwezig zijn door de omgeving te gebruiken als een extern geheugen, (iii) reactieve robots met niet-lineaire koppelingen tussen sensoren en actuatoren kunnen beter omgaan met perceptuele ambiguïteit in een actieve categorische perceptietaak dan robots met lineaire koppelingen tussen sensoren en actuatoren, en (iv) ‘sensor state-transition’ diagrammen geven inzicht in de gedragsstrategieën die worden toegepast door reactieve robots ten aanzien van perceptuele ambiguïteit en de omgeving als extern geheugen. Bovendien tonen de bevindingen die verkregen zijn met het model van actieve categorische perceptie, en de daarbij behorende analyses, aan dat representatie door gesitueerde systemen intern en/of extern kan plaatsvinden. Dit duidt erop dat de operationalisatie van de notie van gesitueerde representatie dient te voorzien in zowel interne als externe representatie.

Het vierde hoofdstuk bestudeert de aard van interne representatie. Interne representatie wordt doorgaans geassocieerd met planning in symboolmanipulatietaken. Om de aard van interne representatie te bestuderen onderzoeken we in dit hoofdstuk een gesitueerd robotmodel van de ‘Tower of London’ taak, een typische plannings-taak waarbij symboolmanipulatie een grote rol speelt. Op basis van de bevindingen verkregen uit het gesitueerde ‘Tower of London’ model en de daarbij behorende analyses mogen we concluderen dat (gesitueerde) symboolmanipulatie door interne simulatie van perceptie en gedrag aan de basis ligt van het planningsvermogen van de robot. Bovendien concluderen we dat zowel de huidige als de toekomstige toestand van de omgeving door de robot wordt gerepresenteerd door sensoractivatie aan acties te koppelen. De huidige toestand van de omgeving wordt gerepresenteerd door activatiepatronen die ontvangen worden vanuit de omgeving. De toekomstige toestand wordt gerepresenteerd door intern gegenereerde activatiepatronen. Onze conclusies geven aan dat de operationalisatie van de notie van gesitueerde representatie het mechanisme van interne simulatie van perceptie en gedrag dient te omvatten.

Het vijfde hoofdstuk bestudeert de aard van externe representatie in een model van een gesitueerde robot die een foerageertaak uitvoert in een stochastische omgeving. Om te begrijpen hoe extern gerepresenteerde kennis wordt gebruikt door de gesitueerde robot, analyseren we de interactie tussen de robot en zijn omgeving door middel van twee typen analyse (microscopische en macroscopische). De analyses leiden tot de volgende drie conclusies: (i) macroscopische analyse kan een universele eigenschap voorspellen die op het microscopische niveau kan worden verklaard, (ii) macroscopische analyse kan microscopische analyse ondersteunen in het bestuderen van adaptief gedrag en (iii) macroscopische analyse kan worden verkozen boven microscopische analyse omdat het universele eigenschappen kan onthullen. Bovendien geven de experimenten met het gesitueerde model van foerageergedrag en de bijbehorende analyses aan dat de gemiddelde eigenschappen van de interactie met de omgeving de externe representatie vormt. Robots in het gesitueerde model van foerageergedrag representeren geen individuele voedsелеlementen (of hun fysieke lokatie) door element-specifieke interactie, maar representeren de uniforme distributie van de voedsелеlementen in de gemiddelde interactie met de omgeving. Deze bevindingen geven aan dat de nieuwe operationalisatie van representatie moet

voorzien in de gemiddelde interactie met de omgeving als basis voor externe representatie.

Het zesde hoofdstuk combineert de resultaten van de onderzoeken uit de voorgaande drie hoofdstukken. Op basis van deze resultaten formuleren we een nieuwe operationalisatie van de notie van representatie. De nieuwe operationalisatie houdt in dat een systeem, om een entiteit adequaat te representeren, in staat moet zijn om entiteit-specifieke interactie met de omgeving uit te voeren en/of intern te simuleren. Vervolgens worden in dit hoofdstuk vier voordelen van de nieuwe operationalisatie ten opzichte van zijn niet-gesitueerde tegenhanger behandeld die betrekking hebben op: (i) externe en interne representatie, (ii) het representatiedebat, (iii) gesitueerde benaderingen van cognitie en bewustzijn, en (iv) het ‘symbol grounding’ probleem. Hierna worden de twee operationalisaties met elkaar vergeleken. Deze vergelijking leidt tot de opvatting dat de operationalisatie van niet-gesitueerde representatie moet worden vervangen door de nieuwe operationalisatie. Bovendien worden in dit hoofdstuk de mogelijke implicaties van de nieuwe operationalisatie voor de onderzoeksgebieden kunstmatige intelligentie, cognitieve neurowetenschap en cognitieve psychologie besproken.

In het zevende hoofdstuk beantwoorden we de onderzoeksvragen die werden geformuleerd in het eerste hoofdstuk als volgt: (i) waar de door gesitueerde systemen gebruikte kennis wordt gerepresenteerd kan worden geïdentificeerd voor zover we de koppelingen tussen sensoren en actuatoren kunnen begrijpen en deze kunnen relateren aan de dynamiek van de omgeving, en (ii) deze kennis wordt benaderd en gebruikt door een gesitueerd systeem bij het oplossen van een bepaalde taak door:

- (i) het exploiteren van attractoren in de interactie met de omgeving (hoofdstuk 3),
- (ii) het intern simuleren van interactie met de omgeving (hoofdstuk 4) en
- (iii) het exploiteren van de gemiddelde eigenschappen van interactie met de omgeving (hoofdstuk 5).

Tenslotte wordt de probleemstelling uit het eerste hoofdstuk beantwoord door de claim dat de operationalisatie van gesitueerde representatie essentieel is bij het benadrukken van de rol van de omgeving voor cognitie binnen de ‘theory of situated cognition’. We concluderen tenslotte dat, in een gesitueerd systeem, representatie net zo sterk gekoppeld is aan de omgeving als het systeem zelf, in andere woorden: *representatie is gesitueerd van aard.*