

Agenten in höheren Sphären - Quantenmechanische Situationsmodellierung kognitiver Systeme am Beispiel des Mouse-Maze-Problems

Markus Huber und Ronald Römer
BTU-Cottbus

Kurzfassung

Motivation und Einführung. Das Studium kognitiver Systeme setzt sich im Kern mit den vier Schwerpunkten Wissensrepräsentation und Problemlösung sowie Kommunikation und Lernen auseinander. Die hier vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag zur Repräsentation von abstrakten Objekten durch semantische Träger und deren Verarbeitung in kognitiven Systemen. Dabei sollen die aus der systemtheoretisch begründeten Psychologie ([1], [2] und [5]) bekannten Zusammenhänge zwischen den o.g. Schwerpunkten genutzt werden, um den Autonomiegrad kognitiver Systeme zu erhöhen.

Grundlegend für die Modellierung kognitiver Systeme ist zunächst die Trennung von Subjekt, Objekt und Umgebung. Mit der Wissensrepräsentation werden die Eigenschaften und die Beziehungen zwischen diesen abstrakten Objekten auf formale Weise beschrieben. Bei der Problemlösung müssen zwei Aspekte unterschieden werden: Aus der Perspektive der klassischen KI steht die Lösung des Planungsproblems im Vordergrund. Dabei geht es um die Frage, wie das Subjekt durch zielgerichtete Aktionsauswahl von einer Start- zur Zielsituation gelangen kann (Verhaltenssteuerung). In [1] wurde jedoch gezeigt, dass dieser Fragestellung das sogenannte Reifikationsproblem vorausgeht. Demnach müssen zuvor die *lösungsrelevanten* Eigenschaften und Beziehungen gefunden werden. Erst mit der Lösung dieses Problems, können dann geeignete Aktionen identifiziert werden [3].

Diese Einsicht führt uns zum Zusammenhang zwischen Problemlösung und Kommunikation. Nach [2] verstehen wir unter Kommunikation den Austausch und den Abgleich von Vorstellungen zwischen zwei finalen Systemen. Die systemtheoretisch begründete Psychologie vertritt unter Einnahme einer evolutionären Perspektive die Auffassung, dass sich Sprache - als Kommunikationsmittel - erst nach der Fähigkeit zum produktiven Denken (Problemlösen) entwickelt hat [1]. Diese Auffassung motiviert uns zur Aufstellung der *Hypothese*, dass die Strukturen des produktiven Denkens sowohl die Strukturen der Verhaltenssteuerung als auch die Strukturen der verwendeten Sprachgebilde bestimmen. Da diese Strukturen auf der semiotischen Ebene angesiedelt sind, folgt daraus, dass sie nicht vom Systemkonstrukteur erdacht werden müssen. Stattdessen kann die Aufdeckung und Nutzbarmachung solcher Strukturen für die Kommunikation und Verhaltenssteuerung durch die Lernfähigkeit kognitiver Systeme ermöglicht werden [7].

Problemstellung. Zur Überprüfung der Hypothese stellen wir die Strukturen des produktiven Denkens in den Mittelpunkt der Betrachtungen. Für die formale Untersuchung konzentrieren wir uns auf strukturierte Mengen wie Vektorraum (algebraische Struktur) und Hilbertraum (zusätzliche metrische Struktur). Diese Räume wurden bereits in [4] und [6] vorgeschlagen, da mit ihnen sowohl der Gebrauch von sprachlichen Mitteln modelliert als auch die Ähnlichkeit von Semantik berücksichtigt werden kann [8].

Vor diesem Hintergrund beschäftigen wir uns mit der Frage, wie wir Situationen und Aktionen in solchen Räumen repräsentieren können. Dazu untersuchen wir am Mouse-Maze-Problem zunächst die Repräsentation von Situationen (z.B.: „Das Objekt Käse befindet sich auf einem Feldelement“).

Zur Beurteilung geeigneter mathematischer Raummodelle untersuchen wir folgende Teilprobleme:

- Können Situationen durch Unterräume repräsentiert werden?
- Lassen sich günstige Situationen (Käse auf Feldelement) und ungünstige Situationen auf separate Unterräume abbilden?
- Lassen sich konkrete Situationen durch Unterräume eindeutig identifizieren?
- Entsprechen die gefundenen mathematischen Strukturen semantischen Strukturen?

Lösungsansatz. Es werden zwei Raummodelle untersucht: Zum einen modellieren wir den Problemraum als eine *direkte geometrische* Entsprechung zum physikalischen Raum. Dabei werden die Wertebereiche der 3 Sensoren (X -Pos, Y -Pos, C -Käse) auf 3 Raumachsen abgebildet. Die von den Sensoren aufgenommenen diskreten Werte bilden Tripel, welche nun als Elemente eines Vektorraums interpretiert werden. Zum anderen benutzen wir einen Hilbertraum, verbunden mit quantenmechanischen Formalismen, als *abstrakte geometrische* Entsprechung zum Problemraum. Hier werden komplette Sensortripel auf einzelne Raumachsen abgebildet. Die Lösung des Reifikationsproblems geht auf die Feststellung zurück, dass die X - und Y -Position sowohl steuer- als auch beobachtbar sind. Dagegen ist das Objekt Käse lediglich beobachtbar. Die X - und Y -Position stellen also die lösungsrelevanten Eigenschaften dar. Aktionen müssen daher von Operatoren repräsentiert werden, welche Situationsübergänge unabhängig vom Objekt Käse erlauben, um zur Lösung des Planungsproblems verwendet werden zu können.

Ergebnisse. Wir geben ein Verfahren an, mit dem wir den Problemraum durch Identifikation von Unterräumen so strukturieren können, dass wir nicht nur Zustände von abstrakten Objekten sondern auch Beziehungen zwischen Objekten im Hilbertraum repräsentieren können. Damit können wir konkrete Situationen durch Vektoren und Situationsänderungen durch unitäre Operatoren beschreiben. Wir zeigen an unserem Beispiel, dass die gefundenen geometrischen Strukturen des Problemraums semantischen Strukturen entsprechen, welche dann unter Verwendung einer Grammatik artikuliert und kommuniziert werden können.

Literatur.

- [1] Bischof, N.: *Psychologie, ein Grundkurs für Anspruchsvolle*, Verlag Kohlhammer, 2. Auflage, 2009.
- [2] Bischof, N.: *Struktur und Bedeutung, Eine Einführung in die Systemtheorie für Psychologen*, Verlag Hans Huber, Bern, 2. Auflage, 1998.
- [3] Wolff, M.; Römer, R. und Wirsching, G.: *Towards coping and imagination for cognitive agents*. 6th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), pp. 307-312, Győr (Hungary) 2015.
- [4] Widdows, D.: *Geometry and Meaning*, CSLI Publications, Lecture Notes, 2. Auflage, 2004. 6th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), pp. 307-312, Győr (Hungary) 2015.
- [5] Römer, R. und Wirsching, G.: *Ein Beitrag zu den natur- und geisteswissenschaftlichen Grundlagen kognitiver Systeme*, 24. Konferenz Elektronische Sprachsignalverarbeitung, Bielefeld 2013, pp. 93-102, TUDpress Dresden 2013.
- [6] Römer, R.; Huber, M. und Wirsching, G.: *Ein Beitrag zur Gedankengeometrie kognitiver Systeme*. 27. Konferenz Elektronische Sprachsignalverarbeitung, Leipzig 2016, pp.101-110, TUDpress Dresden 2016.
- [7] Schmitt, I.; Römer, R.; Wirsching, G. und Wolff, M.: *Denormalized Quantum Density Operators for Encoding Semantic Uncertainty in Cognitive Agents*. 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, pp. 165-170, Debrecen (Hungary) 2017.
- [8] Widdows, D.: *Semantic Vector Products: Some Initial Investigations*. Second AAAI Symposium on Quantum Interaction, Oxford, 26th – 28th March 2008.