

Ein neurodynamisches Modell der perzeptuellen Verankerung von räumlichen und Bewegungsrelationen

Mathis Marius Richter

Kurzfassung

Ein grundlegender Aspekt menschlicher Intelligenz ist unsere Fähigkeit, Relationen zwischen Objekten in der Welt zu erkennen. Räumliche Relationen werden im täglichen Leben oft genutzt, um sprachlich Bezug auf Objekte zu nehmen. Beispielsweise wird in dem Satz „Das rote Auto links des silbernen Autos“ die räumliche Relation „links“ genutzt, um genauer zu spezifizieren, welches rote Auto gemeint ist. Bewegt sich ein Objekt, können zusätzlich Bewegungsrelationen genutzt werden, wie in dem Beispiel „Das Auto bewegt sich auf die Ampel zu“.

Diese Arbeit untersucht, wie räumliche Relationen und Bewegungsrelationen von neuronalen Prozessen im menschlichen Gehirn verarbeitet werden. Dazu stellt die Arbeit ein Modell auf, das diese neuronalen Prozesse mathematisch beschreibt. Das Modell baut auf der Dynamischen Feldtheorie (DFT) auf, einem mathematischen und begrifflichen Rahmen zur Modellierung kognitiver Prozesse, der mit Prinzipien neuronaler Funktion konsistent ist. Dem Modell werden Bildsequenzen einer echten Szene gezeigt, in welcher mehrere farbige Kugeln auf einem weißen Untergrund zu sehen sind. Zusätzlich wird dem Modell eine symbolische Beschreibung eines Objekts in der Szene geboten, zum Beispiel „Das rote Objekt links des grünen Objekts“. Aufgabe des Modells ist es, diese Beschreibung in der Welt zu *verankern*, das heißt, seine Aufmerksamkeit auf das beschriebene Objekt zu lenken und eine perzeptuelle Repräsentation dessen aufzubauen. In einem zweiten Aufgabentyp generiert das Modell selbst eine Beschreibung der visuellen Szene.

Diese Aufgaben erfordern, dass das Modell diskrete Konzepte aus der Beschreibung, zum Beispiel Farbkonzepte wie Rot, auf kontinuierliche Merkmalsräume abbildet. Die kontinuierlichen Repräsentationen werden für die sequenzielle visuelle Suche nach entsprechenden Objekten genutzt, welche anschließend ins Arbeitsgedächtnis gebracht werden müssen. Um Relationen zwischen Objekten zu ermitteln, müssen relative Positionen der Objekte untereinander bestimmt werden. Dies entspricht einer Anpassung des Referenzrahmens ihrer Repräsentation. Schließlich muss das Modell die Passung der Objektpositionen und -bewegungen zu Repräsentationen räumlicher Relationen bzw. Bewegungsrelationen ermitteln. Eine besondere Herausforderung besteht darin, dass das Modell seine Prozesse selbstständig organisiert.

Die Arbeit erläutert, wie das Modell diese vielfältigen Prozesse ausschließlich auf Basis neuronaler Dynamiken realisiert. Es innoviert gegenüber früheren Arbeiten dadurch, dass es sowohl Beschreibungen in der Welt verankern als auch selbst generieren kann. Zusätzlich zu schon früher modellierten räumlichen Relationen, erfasst es auch Bewegungsrelationen. Ein entscheidender Beitrag dieser Arbeit besteht in der flexiblen, hierarchischen Prozessorganisation des Modells. Um das Modell zu evaluieren, wird in 104 qualitativ unterschiedlichen Tests variiert, was die Aufgabe des Modells ist, wie die Objekte räumlich in der Szene angeordnet sind und wie gut die vorgegebene Beschreibung auf die Szene passt. Die dafür benutzten 82 Bildsequenzen wurden eigens für diese Tests aufgenommen. In allen Tests ist das Modell in der Lage das richtige Objekt zu lokalisieren bzw. eine passende Beschreibung der Szene zu generieren.

Die Arbeit zeigt wie räumliche Relationen und Bewegungsrelationen durch ein neuronales Prozessmodell ausgedrückt werden können. Es bringt DFT damit einen Schritt näher an eine umfassende neuronale Theorie menschlicher Wahrnehmung.