

Dynamische Feldtheorie der räumlich-visuellen Kognition

Sebastian Schneegans

Kurzfassung in deutscher Sprache

Ein wesentliches Merkmal der menschlichen visuellen Wahrnehmung ist das aktive Sehen, also das Erfassen der visuellen Umwelt durch Abfolgen zielgerichteter Augenbewegungen. Die Steuerung dieses Prozesses und die Interpretation der so gewonnenen sensorischen Daten stellt spezifische Anforderungen an das Nervensystem. Wesentliche Signaturen des aktiven Sehens, insbesondere die sequentielle Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einzelne Elemente, zeigen sich zudem auch in kognitiven Prozessen.

In dieser Arbeit stelle ich eine Reihe von neurodynamischen Modellen vor, die aufeinander aufbauend verschiedene Aspekte des aktiven Sehens behandeln. Zunächst untersuche ich die neuronale Steuerung zielgerichteter Augenbewegungen sowie die Verarbeitung der visuellen Information zur Erzeugung blickrichtungsinvarianter räumlicher Repräsentationen. Dieselben neuronalen Mechanismen nutze ich zur Entwicklung kognitiver Modelle des menschlichen Arbeitsgedächtnisses für visuelle Szenen sowie der Verankerung räumlicher Sprache in der visuellen Wahrnehmung.

Die theoretische Grundlage für diese Modelle ist die Theorie Dynamischer Neuronaler Felder. Diese Theorie beschreibt neuronale Prozesse auf einer mittleren Abstraktionsebene, die einerseits die grundlegenden Funktionsweisen biologischer neuronaler Systeme widerspiegelt, andererseits aber auch eine direkte Verbindung zu beobachtbarem Verhalten herstellt. Dazu wird die zeitlich kontinuierliche Entwicklung von Aktivitätsverteilungen auf der Ebene neuronaler Populationen durch Integro-Differentialgleichungen beschrieben. Neuronale Felder können unmittelbar an visuelle Eingänge angekoppelt werden, wie ich in Teilen der Arbeit durch Demonstrationen auf Videobildern zeige.

Der Übergang von reaktivem sensomotorischen Verhalten zu kognitiven Prozessen in den neurodynamischen Modellen wirft spezifische theoretische Probleme auf. Zum einen müssen in den parallel und kontinuierlich arbeitenden Systemen Abfolgen von diskreten kognitiven Operationen erzeugt werden. Dies wird unter Ausnutzung von Attraktorzuständen in der Dynamik der neuronalen Felder erreicht. Diese erlauben es, die kontinuierliche Veränderung der Aktivitätsmuster in geordnete Abfolgen von Zustandsübergängen zu gliedern. Zum anderen müssen aus dem komplexen Fluss visueller Informationen spezifische Objekte als Argumente für die kognitiven Operationen ausgewählt werden. Hierzu werden Attraktorzustände in räumlichen Repräsentationen verwendet, welche die Position eines ausgewählten Objektes wiedergeben und es ermöglichen, auf weitere Eigenschaften des Objektes zuzugreifen. Die Modelle sind so in der Lage, komplexe kognitive Operationen flexibel auszuführen, und sie erklären zahlreiche experimentell beobachtete Charakteristika menschlichen Verhaltens im Bereich des aktiven Sehens.