

# Räumliche Inferenz mit Lern- und Optimierungsverfahren

Carsten Gips

In der Dissertation „Anwendung von Verfahren des Maschinellen Lernens und von Evolutionären Algorithmen bei der räumlichen Inferenz“ [2] werden verschiedene Ansätze zum Lösen der bei dem verwendeten metrischen Ansatz zur räumlichen Inferenz entstehenden Constraintsysteme vorgestellt und verglichen. Neben aktuellen Constraintsolving-Algorithmen wurden Verfahren aus den Bereichen Maschinelles Lernen und Evolutionäre Algorithmen auf ihre Anwendbarkeit überprüft. Hierzu hat der Autor Ansätze auf der Basis von Entscheidungsbäumen und von EA untersucht und (weiter-) entwickelt, mit denen man Lösungen für das Constraintproblem (gezielt) erzeugen bzw. suchen kann. Für den ML-Algorithmus hat der Autor eine Erweiterung vorgestellt, die zu einer gegebenen Menge von räumlichen Relationen die nötigen zusätzlichen Constraints berechnet, unter welchen die Inferenz einer weiteren Relation möglich wird.

## 1 Einleitung

Das Verstehen räumlicher Beschreibungen und die Beantwortung von Fragen zu diesen Beschreibungen zählt zu den wichtigsten kognitiven Fähigkeiten von Menschen. Eine Person, die eine Beschreibung einer räumlichen Anordnung, beispielsweise einer Zimmereinrichtung, rezipiert, kann sich sofort darunter etwas vorstellen. Sie entwickelt ein „inneres“ Bild der beschriebenen Situation, welches sicher vom Kontext der Beschreibung, der Darbietungssituation und von der persönlichen Prägung dieser Person abhängt. Außerdem kann die Person Fragen zum Text beantworten, und zwar auch zu Sachverhalten, die nicht explizit in der Beschreibung vorkamen.

Diese kognitiven Fähigkeiten sind in vielen Anwendungen von Interesse, beispielsweise bei mobilen Robotern oder bei Navigations- und Assistenzsystemen. Hier wäre es wünschenswert, der Maschine eine kurze Beschreibung der Situation zu geben und diese würde automatisch den gesuchten Weg finden oder die gewünschte Aufgabe durchführen, indem sie aus der Beschreibung die fehlenden Informationen inferiert und mit Sensordaten etc. anreichert.

## 2 Räumliche Relationen

Ausgangspunkt und Motivation der Untersuchungen waren Arbeiten zum Textverstehen (z.B. [1]). Der folgende Text ist eine typische Beschreibung einer räumlichen Konfiguration, wie sie in den genannten Untersuchungen vorkamen und wie sie hier in der Arbeit betrachtet wurden:

Steffi steht im Zimmer und schaut sich um. Vor ihr steht ein Kühlschrank. Die schöne neue Lampe, die ein Geschenk ihrer Mutter war, steht links vom Kühlschrank. Rechts neben Steffi steht ein alter Geschirrschrank.

Für diese Beschreibung soll nun beispielsweise die Frage beantwortet werden, ob in dem beschriebenen Szenario auch die Relation `right(cupboard, lamp)` gilt, d.h. ob sich die Lampe rechts vom Geschirrschrank befindet. Man erkennt schon an dieser Stelle, daSS diese räumliche Beziehung unter be-

stimmten Bedingungen gilt, d.h. abzuleiten ist, aber eben nicht immer.

Bevor man sich um Konsistenzprüfungen oder gar Inferenzen bemühen kann, muSS man zunächst die Semantik der räumlichen Relationen definieren und die Frage der verwendeten Bezugssysteme klären. Im Gegensatz zu qualitativen Verfahren des räumlichen SchlieSSens verwendet der Autor einen metrischen Ansatz aus [1]. Objekte werden dabei als ausgedehnte Körper dargestellt, räumliche Relationen zwischen zwei Objekten werden durch parametrisierte homogene Transformationsmatrizen mit Constraints auf den Parametern dieser Matrizen repräsentiert. Für die Inferenz werden die Matrizen multipliziert und die Constraints propagiert. Da das dabei entstehende Constraintsystem aus Ungleichungen besteht, welche trigonometrische Funktionen enthalten können (wobei die Winkelvariablen Teil des Constraintproblems sind), kann man diese nur selten analytisch lösen.

## 3 Räumliche Inferenz

Nach einer Einführung in die Thematik der räumlichen Inferenz und einer Übersicht über Bezugssysteme, Relationen und verschiedene qualitative Verfahren des räumlichen SchlieSSens wird der verfolgte metrische Ansatz zur räumlichen Inferenz aus [1] vorgestellt, welcher die Theorie der Mentalen Modelle [3] von Seiten der KI modelliert und implementiert. An einem Beispiel wird der aus diesem Ansatz resultierende Inferenzprozess illustriert und dabei gezeigt, daSS man in stark eingeschränkten Fällen den dazu nötigen Constraintvergleich analytisch durchführen kann. Im Unterschied zur klassischen Logik, wo für eine gültige Inferenz die Conclusio für alle Lösungen der Prämisse erfüllt sein muSS, hat man hier den Fall, daSS die Erfüllungsmengen von Prämisse und Conclusio lediglich eine nichtleere Schnittmenge haben müssen.

Zur (numerischen) Ermittlung der Schnittmenge werden wichtige Verfahren des Constraintsolving vorgestellt und anhand zweier aktueller Algorithmen die Anwendbarkeit dieser Verfahren auf die bei der räumlichen Inferenz entstehenden Constraintsysteme überprüft.