

氏 名 Raghvendra Jain

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1758 号

学位授与の日付 平成27年3月 24 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 PROBABILISTIC REPRESENTATION OF
PERCEIVED TOOL AFFORDANCES FOR ROBOT TOOL
USE

論文審査委員 主 査 准教授 稲邑 哲也
教授 山田 誠二
教授 佐藤 健
教授 Helmut Prendinger
准教授 市瀬 龍太郎
教授 長井 隆行 電気通信大学大学院

論文内容の要旨
Summary of thesis contents

To perform a tool-using task by manipulating some target object, a robot needs to a) determine the desired effects of the task b) determine a suitable tool c) generate correct position and orientation in which tool should be placed relative to the target object and d) determine the action to subsequently manipulate the tool after it is placed. Thus, learning to use tool requires robot to determine casual dependencies that exist among the spatial constraints of the environment, desired effects, functional features of the tool, actions and structural constraints of the tool. I argue that to enable robot to be an autonomous tool user, it is required that its learning of previous tools should enable it to use unseen tools in order to solve similar tasks. To transfer the learning of affordances of previous tool to unseen tools, I propose a novel approach of tool representation based on features of the tools that are relevant in its functionality (e.g. shape, material etc). Also to solve a tool using task, an autonomous tool user requires the inference capability for tool recognition and selection, action recognition and selection, and inference of probable effects of tool manipulation skill. To acquire such inference capability I propose Bayesian learning of Tool Affordances. Tool Affordances encode the probabilistic dependencies between actions, tool representation and effects of target manipulation. But learning of these casual dependencies by performing tool manipulation tasks using self-exploration or pre-programming by user is computationally expensive and resource intensive process. Thus, to address such a problem, learning of tool use in an online, incremental and interactive manner is proposed, where robots learn tool-use using trial-and-error-and-interaction loop. To deal with uncertainties in the domain knowledge, robot learning and inference process, probabilistic semantics of Bayesian network(BN) is used. BN allows modeling dependencies making probabilistic queries to human user based on internal state of the robot and also allows incorporating user feedback with a degree of confidence. In this work, I demonstrate the successful learning of Tool Affordances by target manipulation using an action and tool. It is shown that using learnt affordances, a robot can perform several inferences using several tools. The concept of interaction based learning and experimental scenarios are also presented.

本論文は、ロボットの運動スキル学習問題のうち、道具を使った物体操作スキルを学習する問題に対して Perceived Affordance の概念を導入し、道具利用の確率的なモデルを提案し、その有用性を検証する内容となっている。Perceived Affordance (以下、アフォーダンスと記す)とは、物体が持つ質量や形状というプロパティと同様に、どのような動きをずる傾向があるか、どのような物理的運動効果をもたらすか、という物理的運動に関する傾向を表現する概念であり、その概念を確率的に表現したモデルを獲得することで道具がもたらす効果を予測し、状況に応じた適切な道具選択などを可能にするアプローチである。

本論文は5章から構成される。まず第1章ではロボットによる道具利用の定義が行われ、1) どの道具を用いるべきか、2) どのような道具の動かし方をすべきか、3) 操作の結果のどのような効果が得られるか、の3点を相互に推論可能なモデルの必要性が述べられている。第2章では、従来研究の調査および問題点の指摘、とるべきアプローチについての議論がなされ、従来研究の持つ制限を a) 道具利用のモデルに用いるべき物理的パラメータの選択、b) 第1章で述べられた3点を相互に推論するための計算モデル、c) モデルの洗練化などのために必要となる道具利用の結果の評価法、の3つの観点から整理している。それぞれの個別の問題・制約については解決方法が既に従来研究で提案されているが、それらを統括的に処理可能な道具利用モデル・動作スキル学習方法は存在していない。本研究の意義は、その統括的な道具利用モデルの提案にあることを本章で位置づけている。第3章では、統括的な道具利用のモデルのために、道具のアフォーダンスの概念を導入し、確率的に道具のアフォーダンスを表現するための手法としてベイジアンネットワークを用いる方法が述べられている。道具の機能的特徴量、道具を操作するロボットの動作、操作の得られる効果の3点に関する情報を確率変数に対応させネットワーク上のノードで表現し、ロボットが試行錯誤を繰り返しながら動作と結果の関係性を観察することで、各ノード間のネットワーク構成を学習する方法とそれを利用する方法が提案された。第4章では、提案された道具利用のための確率的アフォーダンスモデルの性能を実験を通じて評価し、その有用性と応用可能な限界点の調査について述べられている。具体的には、1) 道具利用の試行錯誤を通じて確率的アフォーダンスを獲得する際の利用すべき特徴量選択に関する実験、2) 獲得された確率的アフォーダンスモデルを用いた道具操作実験と評価、3) 経験していない状況下での道具利用方法の推論の性能評価実験、の3種類の実験を行い、提案手法を用いる場合/用いない場合で有意な差があることを統計的に示している。第5章では、本論文の結論・学術的な意義、将来課題等についてのまとめが述べられた。ベイジアンネットワークを用いた道具利用のアフォーダンスモデルを用いる事の意義として、将来課題にはなるが、人間とロボットの間で質問・教示を行う事による効果的な学習機能や、経験した事の無い新しい道具を与えられた際にその活用方法を推論する機能の実現などに有用であることが述べられた。

本論文の新規性は、ロボットの道具利用に関する従来研究の制限であった、1) 道具の種類、2) 道具の動かし方、3) 道具利用による対象物体の変化、の3点の相互的な因果関係を表現するモデルの提案にある。その提案手法の有用性は、ロボットによる道具利用実験を通じて確認されており、博士論文の内容として十分である事が審査の結果確認された。

本論文の成果の一部は既に査読付英文ジャーナル雑誌の原著論文(1本)として採録済

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

みであり，査読付の国際学会でのプロシーディング論文も3本採録済みである．以上の点を総合的に判断して，本論文は学位を授与するに値すると判断した．