

サービスロボットの行動の時空間表現に基づく
タスク・モーションプランニング

2023年3月

川崎 陽祐

学位論文 博士（工学）

サービスロボットの行動の時空間表現に基づく
タスク・モーションプランニング

2023年3月

慶應義塾大学大学院理工学研究科

川崎 陽祐

主 論 文 要 旨

報告番号	㊥ 乙 第	号	氏 名	川崎陽祐
主 論 文 題 名 :				
サービスロボットの行動の時空間表現に基づくタスク・モーションプランニング				
(内容の要旨)				
<p>本論文では、人の生活空間における活躍が期待されるサービスロボットによる円滑なタスク遂行を実現するため、ロボットの機能や環境を有効活用する実行しやすい行動列の計画手法を提案する。実空間を考慮してロボットが現在・未来に実行可能な行動を理解するため、行動に関する記号的な知識や、ロボットのサブシステムの性質や物体集合の幾何情報に基づき、実行可能な行動の時空間的関係を記述する環境表現手法を提案する。そして、タスクをロボットが実現可能な行動の範囲で解釈するため、環境表現と実空間における指標に基づき行動列の内容や順番、実行場所を同時に最適化する手法を提案する。具体的には、実行可能な行動を実空間に埋め込む方法として、実行場所に着目し、エッジを行動の実行、ノードを行動の実行場所とした環境表現であるアクショングラフと、それに基づくロボットナビゲーション手法を提案する。さらに、ロボットと環境の状態から構成される世界状態と実行可能な行動の相互作用を計画問題へ落とし込むため、シーングラフを用いた知識表現に基づく、再帰的多層構造有する世界状態依存アクショングラフと、それに基づくモバイルマニピュレーション計画手法を提案する。また、Human Robot Interaction (HRI)のための人への接近行動に着目し、HRI 行動に重要なセンサ情報とセンサ特性に基づき行動を実空間へ落とし込むためのアクションモデリング手法を提案し、経路計画手法とアクショングラフへの適用方法を提案する。本研究では、移動タスクや物体運搬タスクに提案手法を適用し、実機を用いた実験を通じて有効性を検証する。</p> <p>第1章では、本研究全体の背景と目的、また課題解決の指針を述べた。</p> <p>第2章では、ロボットのナビゲーションタスクを対象に、複数の実行可能な行動の時空間的な関係性を記述するアクショングラフの構築アルゴリズムとそれを用いた計画手法について述べ、提案手法の有効性を検証した。</p> <p>第3章では、ロボットのモバイルマニピュレーションタスクを対象に、世界状態と行動可能性の相互作用を表現するため、アクショングラフを時間方向へ拡張した世界状態依存アクショングラフの構築アルゴリズムとそれを用いた計画手法について述べ、提案手法の有効性を検証した。</p> <p>第4章では、ロボットの HRI 行動のための人への接近行動を対象に、搭載されたセンサを有効活用し HRI 行動を促進する接近行動を実空間に埋め込むためのアクションモデリング手法を述べた。さらに、得たアクションモデルに基づく経路計画手法とアクショングラフの構築手法について述べ、提案手法の有効性を検証した。</p> <p>第5章では、各章の結果を受け、本論文の結論を述べた。</p>				

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. *Office use only	Name	Yosuke Kawasaki
Thesis Title Task and motion planning based on spatio-temporal action representation for service robot			
Thesis Summary <p>In this dissertation, I propose a planning method of executable action sequences that exploit the robot's functions and environment, aiming to realize smooth task execution by service robots. To understand the feasible actions for the robot in the present and future, considering real space, I propose an environment representations method that describes the spatio-temporal relations between feasible actions based on symbolic knowledge about the actions and geometric data such as the properties of the robot's subsystems and object sets in the environment. Then, for the interpretation of tasks within ranges of feasible actions for the robot, I propose planning methods for simultaneously optimizing the content, order, and execution position of action sequences based on the representation methods and metrics in real space. Specifically, I first propose an action graph where edges are the execution of actions and nodes are the execution positions of actions, as a method for embedding feasible actions in real space, focusing on execution locations, and a robot navigation method based on the representation. Next, to put the interactions between the world state, which consists of the robot state and the environment state, and executable actions, into a planning method, I propose a world state-dependent action graph, which is a graph representation of the recursive multi-layered structure of feasible actions based on a knowledge representation using a scene graph, and a mobile manipulation planning methods based on the representation. Furthermore, focusing on "approaching people" for human-robot interaction (HRI), I propose an action modeling method to put actions into real space based on sensor information and sensor characteristics important for HRI, and a path planning method and a method to apply action graph construction. The proposed method is applied to a moving task and an object-carrying task, and its effectiveness is verified through experiments using actual machines.</p> <p>Chapter 1 describes the background, purpose, and approach of this research.</p> <p>Chapter 2 describes an algorithm for constructing an action graph that represents the spatio-temporal relations between feasible actions for the robot navigation task, a planning method based on the action graph, and experimental results to verify the effectiveness of the proposed method.</p> <p>Chapter 3 describes an algorithm for constructing a world state-dependent action graph for handling mobile manipulation tasks, which is an extended action graph to represent interactions between world states and action possibilities, and a planning method based on the action graph. The results and discussions of experiments to evaluate the effectiveness of the proposed algorithm are described.</p> <p>Chapter 4 describes an action modeling method of "approaching people" for the facilitation of HRI action to utilize onboard sensors. Furthermore, path planning and action graph construction methods based on the action models are described and the effectiveness of the proposed method is verified.</p> <p>Chapter 5 describes the conclusion of this dissertation.</p>			