

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	TIAN Yang (ていえん やん)	
○学位の種類	博士 (工学)	
○授与番号	甲 第 1235 号	
○授与年月日	2018 年 3 月 31 日	
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項	
○学位論文の題名	Kidnapping Detection and its Recovery in Simultaneous Localization and Mapping (SLAM におけるキッドナッピングの検出及びその復帰に関する 研究)	
○審査委員	(主査) 馬 書根	(立命館大学理工学部教授)
	川村 貞夫	(立命館大学理工学部教授)
	小澤 隆太	(立命館大学理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

本研究では、“Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)”技術によりロボットが自律的な動作を行っている間、何らかの原因により別の場所へ強制的に移動させられた際に発生するキッドナッピング(Kidnapping)問題を取り扱う。まず未知の環境でロボットがキッドナッピングされた状況を二つに分類し、キッドナッピングの検出方法“Double Kidnapping Detection and Recognition (DKDR)”を提案した。この方法の有効性の検証をシミュレーションと実機実験により行った。また、広領域の環境における誤認識を減らすために、特徴の位置とロボット姿勢の確定性を組み合わせた“Probabilistic Double Kidnapping Detection and Recognition (P-DKDR)”と呼ばれるキッドナッピング検出方法も提案し、シミュレーションと実機実験によって P-DKDR の有用性の検証を行った。次に、ロボットがキッドナッピングから復帰する手法を提案した。ロボットが探索領域内でキッドナッピングされた場合、SLAM の生成マップの不確定性が考慮された Monte Carlo Localization (MCL)を適用し、ロボットの位置や姿勢を環境マップ内で再推定した。一方、ロボットが探索領域外にキッドナッピングされた状況においては、絶対座標系上で位置推定と SLAM を同時に実行し、情報エントロピーの概念を導入してロボットの姿勢確定を行った。これらの提案手法の有用性を実機実験によって検証した。

本論文では、レーザーセンサーが正しく機能しないような反射率が不均一な環境やロボ

ットが類似環境へ強制移動させられた時など特殊な状況を除き、提案手法がキッドナッピングを正確に検出し、復帰できることを明らかにした。

<論文審査の結果の要旨>

ロボットが SLAM 技術により自律的な動作を行っている間、何等かの要因によって別の場所に強制的に移動させられた場合や車輪が空転したり滑ったりした場合などのキッドナッピング問題において、環境マップ内でロボットの正確な姿勢追従は困難となる。本論文では、キッドナッピングの検出方法とキッドナッピングからの復帰方法を提案し、実験によりその有用性を検証した。本論文の貢献は以下の通りである。

● キッドナッピングの検出方法を提案したこと

キッドナッピング検出時に即座にキッドナッピングの種類を判別するため、異なる測定基準を利用したキッドナッピング検出方法“DKDR”を提案した。DKDR が既存のフィルタベースの SLAM アルゴリズムに簡単に適用できることを示すため、拡張カルマンフィルタに基づく SLAM (EKF-SLAM) とパーティクルフィルタに基づく SLAM (PF-SLAM) に適用し、シミュレーションと実機実験によりその有用性を検証した。また、広領域の環境における誤認識を減らすために、特徴の位置とロボット姿勢の確定性を組み合わせたキッドナッピング検出方法“P-DKDR”も提案し、シミュレーションと実機実験によって広領域において DKDR と比較した場合の P-DKDR の優位性を示した。

● キッドナッピングを解決するためのキッドナッピング復帰方法を提案したこと

車輪が空転したり滑ったりしてロボットが探索領域内でキッドナッピングされた場合、SLAM の生成マップの不確実性が考慮された“MCL”を適用し、ロボットの位置や姿勢を環境マップ内で再推定した。この手法では、MCL 中の粒子の分散領域範囲を制限し、処理性能を向上させた。その他の状況においては、絶対座標系上で位置推定と SLAM を同時に実行し、情報エントロピーを用いてロボットの姿勢確定を行った。最後に実機実験によって提案したこれらの方法の有用性と性能を示した。

以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、学位審議委員会は、一致して、本論文は博士学位を授与するに相応しいものと判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者が本学大学院理工学研究科機械システム専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じて日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の公聴会は、2018年2月2日（金）14時40分～16時10分 イーストウイング5階機械システム系第2演習室において行われた。公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 Tian Yang に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、キッドナッピング判別の閾値の定め方、提案手法のハードウェアの

依存性、提案手法の適用範囲などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。審査委員は論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。

以上の諸点を総合し、学位審議委員会は、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。