

2021年 8月 27日

豊橋技術科学大学長 殿

情報・知能工学専攻  
学位審査委員会  
委員長

南 哲人 

### 論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Yubao Liu		学籍番号	第 189302 号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 情報・知能工学 専攻	
博士学位論文名	Real-time Visual Simultaneous Localization and Mapping under Dynamic Environments (動的環境における実時間視覚ベースSLAM)			
論文審査の期間	2021年 7月 15日 ~		2021年 8月 27日	
公開審査会の日	2021年 8月 27日		最終試験の実施日	2021年 8月 27日
論文審査の結果*	合格		最終試験の結果*	合格
<p>審査委員会(学位規程第6条)</p> <p>学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。</p> <p>委員長 栗山 繁 </p> <p>委員 菅谷 保之  三浦 純 </p> <p style="text-align: center;">印 <span style="margin-left: 300px;">印</span></p> <p style="text-align: center;">印 <span style="margin-left: 300px;">印</span></p>				

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

## 論文内容の要旨

地図の自動生成はロボティクスやコンピュータビジョンの分野における重要な課題である。特に、センサを移動させながら得たデータの系列を基に、センサの移動軌跡と環境の構造を同時に復元する手法は位置と地図の同時推定 (Simultaneous Localization and Mapping; SLAM) と呼ばれ、多くの手法が提案されている。最近では、カメラのみを用いる SLAM 手法である VisualSLAM (vSLAM) が注目を集めている。本論文は、vSLAM を人物などが存在する動的環境へ適用する際の問題点を指摘し、それらを解決するための 4 つの新たな手法についての研究をまとめたものである。第 1 章では、研究の背景、対象とする問題、研究目的と本論文の貢献、論文構成について述べている。第 2 章では関連する研究について、特に動的環境下での vSLAM 研究を中心に述べている。第 3 章では、人や机といった物体の意味的情報を利用する提案手法を評価している。第 4 章では、人物検出結果、動き推定結果、および物体の 3 次元的な分離結果の統合に基づいて動的領域を検出し利用する提案手法を評価している。第 5 章では、意味的情報の取得に時間がかかることを想定し、意味的情報の取得と特徴点の追跡を並行する非ブロックモデルに基づいて精度と実時間性を両立する手法を提案し、その有効性を示している。第 6 章ではさらなる高速化のために、意味的情報を直接計算しない画像に対し、意味的情報を計算した画像の情報をオプティカルフローにより伝播させる提案手法の有効性を示している。第 7 章では本論文の成果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

## 審査結果の要旨

画像を入力とする SLAM 手法 (vSLAM) は、自動運転や拡張現実感など多くの分野での応用が期待されており、特別なセンサを必要としないことから多くの利用場面が想定される。従来の vSLAM 手法は環境が静的でカメラのみが動くという仮定を置いているものが多く、人物や自動車などが存在する動的環境への適用が課題となっている。また、自動運転等への適用では実時間処理を実現することも課題となる。本論文ではこれらの課題を解決するための新たな手法を提案しており、高い新規性を有する。

第 3 章では、画像のセマンティックセグメンテーション (Semantic Segmentation; SS) 結果から得られる物体種別の意味的情報を用いて画像内の動的物体領域を検出し取り除くことにより、vSLAM のロバスト性を向上させる手法を提案し、vSLAM 評価で標準的に用いられる TUM データセットを用いて、従来手法に対する精度の向上を示している。第 4 章では、より高速な手法として、距離画像を用いて分割された各物体領域に対して、人物検出結果と画像特徴点ごとの動き推定結果を基に、その領域が移動物体である確率を計算し利用する手法を提案し評価している。SS は有用な意味的情報を与えることができる反面、高精度の情報を得るためには多くの計算時間を必要とする。従来の vSLAM 手法は、ブロックモデルと呼ばれる、処理対象の画像についての SS 計算の終了を待つ処理のために、高速化に限界があった。そこで、第 5 章では SS 処理と特徴点の追跡処理を並行させる非ブロックモデルを提案している。この手法では、SS 情報と特徴点の動き推定結果を統合して各特徴点の移動物体確率を計算するが、SS 処理の対象画像を適切に選択し、最新の意味的情報を利用できるように工夫しており、従来手法と同等の精度を保ちながら、処理時間の大幅な削減を達成している。第 6 章ではさらなる高速化のため、SS 処理で得られる画像の意味的情報を、画像間の特徴点の移動情報であるオプティカルフローを用いて SS 処理の無い画像へ伝播させることにより、実質的な SS 処理を削減する手法を提案している。代表的な SS 処理である Mask R-CNN 法をこの提案手法に用いた場合に、従来手法と同等の精度を保ちながら 30Hz の実時間処理を実現している。

これらの成果は学術的に高い評価を受けるとともに、ロボティクス、コンピュータビジョン関連分野への幅広い応用が期待される。以上より、本論文は博士 (工学) の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は 1 ページ以上可)