

審査の結果の要旨

氏 名 段 玉林

屋内外を問わず移動体の位置・姿勢を正確に決定することができれば、移動体自体のコントロールに役立つばかりでなく、移動体にセンサ等を搭載することで周辺の静止地物に関する地図を作成し、周辺の移動体を識別、追跡することができる。位置の決定のためのシステムとしては屋外では GPS が知られているが、ビル陰や屋内空間では衛星信号の受信に困難であり利用することができない。そのためロボティクスの分野を中心に SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) と呼ばれる手法が開発されてきた。これは移動体に搭載されたセンサから連続的に得られた画像データ等を用いて、移動体 (センサ) の位置や姿勢の変化を推定する手法であり、センサデータが得られる限り相対的な変化ではあるが、位置・姿勢を決定できる。しかしながら、センサデータの処理エラー (オクルージョンによる情報の欠落や、混在する移動物体と静止物体の識別エラーなど) により位置・姿勢の決定が中断したり、誤差が大きく累積するなどの問題があり、周辺環境によって高精度 SLAM 実現の難易度は相当異なる。従来は、ロボット等の作業空間が屋内に限定されること多いためか、SLAM 研究・開発は比較的単純な屋内空間を対象としたものが多い。しかし、一般には街路などの屋外空間では多数の車両や歩行者、樹木などの不定形の地物などが混在し、精度、安定性を維持することは容易ではない。

本論文は、レーザセンサを用いた 2 次元 SLAM 手法 (移動空間を平面と想定して位置・姿勢を推定する SLAM 手法) と周辺移動体 (車両・歩行者等) の追跡手法を対象に、屋外空間や歩行者なども多数混在した複雑度の高い屋内空間に適用することを念頭に開発し、さまざまな環境下での実証実験を通じて、精度改善効果を確認したものである。本論文は全 5 章からなっている。

第 1 章は序論であり研究の背景、SLAM 手法・移動体追跡手法における課題を整理し研究目的を定義している。

第 2 章は SLAM 手法・移動体追跡手法を分類・概観したうえで、屋外空間に適用するという視点から既存研究の手法を評価している。

第 3 章は新たな手法を提案し、検証実験を通じてその有効性を確認している。提案手法は主に、1) レーザビームが一度スキャンした空間を「空のスペース」と明示的に記録し移動体の検出を容易にすること、2) 時系列画像中のレーザポイントを相互にマッチングする際センサに近いポイントの相対的な重みを小さくする一方、遠くのポイントの重みを大きくすること、の 2 点の改善を実現している点に特色がある。1) については、従来の手法では移動体の識別には数フレームの画像追跡を必要としたが、「空スペース」を明示的に定義することでその中に登場した対象物は全て移動体と見なすことが可能になり、多数

の移動体がセンサ視野の中に存在するケースでも安定的に移動体を識別し、同時に SLAM の精度劣化を防止できると期待される。2) については、対象物までの距離が遠くなると対応するレーザポイントの数は減るものの姿勢の決定精度向上には一層貢献できるという点に着目している。これにより姿勢の決定精度が向上すると期待される。

レーザを搭載した実験車両を開発し、提案手法を幅員や交通量の異なる街路空間で精度検証実験を多数行った。また屋内空間においても多数の歩行者の行き交う展示場空間においても検証実験を行った。その結果、上記の改善を加えることで、さまざまな実験条件の下でも常に SLAM の位置・姿勢決定誤差は改善し場合によっては数分の 1 になる例もあるなど、精度向上や安定性の向上が確認された。また実験車の周辺に停車している車両が急に発進するような場合でもそれに引きずられることが少なく、都市街路環境での SLAM 手法として一層好ましい性能を有していることを示した。

第 4 章は、SLAM 手法・移動体追跡手法の応用として、路上を走行しながら交通状況（旅行速度や車両の密度）を計測するシステムを開発し、実験を通じて有効性を示した。具体的にはレーザスキャナを利用した SLAM 手法・移動体追跡手法を利用して、計測車両自体や周辺の車両について位置、速度、車体形状を計測するシステムである。

第 5 章は結論と今後の課題である。研究の成果をまとめ、今後さらに検討が必要な項目を整理している。

以上をまとめると、本論文は SLAM 手法や移動体追跡手法を複雑な屋外空間に適用することを目的にさまざまな改善を加え、さらに都市街路環境を対象とした実証実験により精度改善効果や安定性の向上などを確認しており、今後 SLAM 手法・移動体追跡手法を屋外の複雑な空間に適用することを一層容易にし、同時に交通情報の収集など、ロボティクス以外の分野でも有望な応用があり得ることを、豊富な実環境実験を通じて明らかにした。これは測量学に貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。