

## 審査の結果の要旨

氏 名 ジャワンマーディ エッサン

本論文は「Evaluation and Quantification of Digital Map Capability for Vehicle Self-Localization(自車位置推定のためのデジタル地図性能の評価と定量化に関する研究)」と題し、自動運転に応用されるデジタルマップの性能を自己位置推定精度の観点から定量的に評価する手法を提案するものである。本論文は英文で記され、全体で8章により構成される。

第1章「Introduction(はじめに)」では、自動運転における自己位置推定技術およびデジタルマップの重要性を説明している。

第2章「Vehicle self-localization and digital map(自動車の自己位置推定とデジタルマップ)」では、近年の自己位置推定の関連研究、本論文の課題であるLiDARを活用した自己位置推定に関する関連研究について考察している。なかでもICP(Iterative Closest Points)手法またはNDT(Normal Distribution Transform)の関連研究について詳説し考察している。

第3章「Low-cost urban mapping framework(低コストな都市部でのマッピングフレームワーク)」では、高精度なデジタルマップを極めて簡便かつ短時間で生成するためのフレームワークを提案している。提案されたマッピングプラットフォームでは、IMU(Inertial Measurement Unit)、レーザースキャナ、GPS、CAN(Controller Area Network)の各データを統合することで正確な自己位置推定を行った。さらに、航空写真と点群データとの自動アラインメントに基づいた自車両の走行軌跡の補正をすることで、SLAMに比べて格段に正確なデジタルマップを自動生成することに成功した。

第4章「Map abstraction for self-localization(自己位置推定のためのマップの抽象化)」では、Multi-Layer Vector model と Planer Surface model というデジタルマップの二種類の抽象化モデルを提案した。これらのモデルは、自己位置推定精度を同等に保ったまま、膨大なサイズの点群データを10000分の1以下のデータサイズまで圧縮できるという点の特筆される。Multi-Layer Vector model はNDT法によってベクトル化されたデータの高さ方向を二次元平面に投影したものであり、Planer Surface model は点群から抽出された構造物平面にNDT法を適用したものである。

第5章「Quantification of digital map ability for self-localization(自車位置推定性能評価のためのデジタル地図定量化)」では、デジタルマップが自車位置推定性能に及ぼす影響について、デジタルマップが保有する情報量の観点から定量化と定式化を提案している。本章では、初期実験データに基づき、自己位置推定誤差に影響を及ぼす指標について三種類のカテゴリを仮説として定義した。即ち、デジタルマップが保有する情報量は、まず「構造物そのものが有する特徴量に関する情報量」「複数の構造物の間のレイアウト関係で表される情報量」「点群データからの抽象化過程における情報量

損失」の三つのカテゴリが存在すると仮定した。この仮説を検証することで、さらにもう一つのカテゴリとして「建造物の有する局所的な類似性による影響」が存在することが明らかにされた。

第6章「Digital map evaluation based on quantification factors (定量化ファクターに基づくデジタルマップの評価)」では、第5章で提案した4つのカテゴリについて、合計16のファクターを定義し、実験に基づく自己位置推定の結果を用いた貢献度評価を行った。まず、抽出したファクターと自己位置推定の誤差を比較することにより、それぞれのファクターの重要性そして貢献が得られる。さらに、主成分回帰(PCR)と機械学習を用いて、自己位置推定誤差を17のファクターで表すためのモデル化を行った。これらの検証により、平均で78%説明可能であることが実証された。

第7章「Adaptive refinement of map and localization parameters based on map factors (マップファクターに基づいた自己位置推定及びマップパラメーターの適応的決定)」では、第6章までに明らかにしたデジタルマップの性能評価方法に基づいて、デジタルマップの自車位置推定の精度および計算量、データ量を最適に制御するための実証実験を行った。この実証実験により、本論文で提案したデジタルマップの評価指標の有用性と信頼性が確認された。

第8章「Conclusion(まとめ)」では、本論文における主たる成果をまとめるとともに、今後の課題と展望について述べている。

最後に、Appendix「GCL Social Project: Towards Autonomous Vehicle Platform for Smart Society (スマート社会に向けた自動運転プラットフォーム)」では、GCLの活動概要を付記した。まず、ソーシャルICT グローバル・クリエイティブリーダー育成プログラム(GCL)として塚田特任助教が企画したGCL-MUSCATプロジェクトのセンシング部分について主導的な役割を果たした。次に、グローバルデザインワークショップ(GDWS)のWorkshop Cでは、MUSCATの実験車両のオペレーションのトレーニングプログラムを設計し、他の学生を対象とした「Workshop on Autonomous Driving」を行った。

以上、これを要するに、本論文は、自動運転の実現に不可欠なデジタル地図の性能指標のモデル化方法を世界で初めて提案し、その有用性を実証したものであり、電子情報学上貢献するところが少なくない。よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。