

審査の結果の要旨

氏 名 史 云

GoogleMap の例に見られるように、電子地図を媒介として多様な情報を整理、共有化、視覚化することの有用性が社会的に認識されるにつれ、高精度・詳細、かつ新鮮な地図を提供することの重要性が増してきた。また、GPS や SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) などの高精度測位技術の進展と相まって、ロボットなどの自律的あるいは協調的制御を実現するためにも、実世界の情報を電子地図の形で提供することは重要となってきた。こうした技術は ITS (Intelligent Transportation System) などにも適用されつつあり、研究から実利用へと徐々にシフトしている。しかしながら、地図の作成は、広域にわたる詳細な計測、地図作成者による地物の発見、識別など、人間の介在する作業を多く必要としており、地図の更新などが十分な頻度で行われない大きな要因となっている。

地図の作成や更新をより効率的に行うために、車輻に計測センサを搭載し、得られたデータから地図の自動作成、更新を行おうという研究が近年多くなされている。道路とその周辺の地物は多くの用途があり、比較的手軽に広域を計測できる車載システムには大きなポテンシャルがあると期待される。しかしながら、現在提案・利用されている車載システムは、道路標識の抽出などに対象が限られているケースが多く、しかも作業の自動化率はそれほど高くない。また計測位置精度もメートルオーダーであるものが大半で、十分ではない。特に地物の計測位置を高精度化するためには、高価な IMU (慣性航法装置) を搭載することが必要とされており、結果として車載システムが非常に高価になるなどの課題がある。そのため、1) 位置・形状の計測精度を高価な機材をできるだけ使用することなく改善すること、2) 計測データから、道路そのものや道路周辺地物を自動的に抽出・計測する方法を改善すること、の 2 点が重要な研究課題として挙げられる。

審査対象論文は、上記の 2 つの研究課題に取り組んだものであり、全 8 章からなっている。第 1 章はイントロダクションであり、研究の背景、目的、既存研究や既存システムの課題を整理している。第 2 章は近接写真測量学の理論を概観し、画像センサからの高精度計測を実現するための理論的な背景を整理している。

第 3 章は車載型のレーザマッピングシステムの概要を述べている。本論文は従来からの画像センサに加え、小型レーザスキャナを搭載することで地物の抽出・計測精度の向上を狙っており、レーザスキャナを車輻に搭載して高精度計測を行うための理論的な枠組みやキャリブレーション方法を提案している。

第 4 章は画像センサとレーザマッピングシステムを統合した車載システムの全体構成と、システムの優位性を概観・整理している。

第 5 章は計測時の車載センサ (画像センサとレーザスキャナ) の位置や姿勢を高精度に

推定する方法を提案している。従来の車載システムでは GPS により得られた高精度位置データを参照しながら、車輛の位置・姿勢の時間的な変化を高精度の IMU により計測する方法が採用されているため、数十 cm オーダーの計測精度を達成するためには数千万円の IMU を必要とする。電子地図を更新するためには多数の車載システムを同時に運用し、広域を高頻度にカバーすることが重要であるため、より低廉で高精度な方法が必要である。本論文では連続的に得られる画像に共通ポイント（タイポイント）を自動的に見だし、そこから得られる幾何的な制約を利用して位置・姿勢の計測誤差を軽減する方法を開発しており、従来の方法に比べ低精度な IMU を利用した場合でも精度の低下を防止できることが期待できる。特にタイポイントをより確実に自動抽出するためにレーザスキャナからの 3 次元点群データを補助として用い、非常に高い自動化率を達成しており、計測手作業の大幅な軽減を可能としている。

第 6 章は道路関連地物の自動抽出計測手法を提案している。すなわち、道路路面形状、道路縁、白線などに加え、交通標識、信号、カードレールなどの道路周辺地物などを 3 次元自動計測する方法を提案している。具体的にはレーザスキャナから得られる点群データから自動抽出する方法（道路路面形状）、点群データ上に画像データを投影した複合データから自動抽出する方法（道路白線や道路縁など）、通常は画像データを利用し、撮影条件の悪いときなどに点群データを参照して確実な抽出・計測を可能にする方法（交通標識や信号など）を開発・提案している。

第 7 章は実道路での検証実験の結果を示している。約 10km におよぶ実道路を実際に走行し、手作業による計測結果を真値として、本システムによる計測結果を比較することで検証を行った。その結果、位置計測精度は 30cm 程度、標識などの長さや高さといった相対的な計測精度は数 cm 程度、道路縁や標識などの自動抽出精度は 90%を越えるなど、従来のシステムに比較して高い精度を実現していることが示された。

第 8 章は結論であり、成果のまとめと残された研究課題が整理されている。

以上まとめると、レーザスキャナと画像センサを組み合わせることで高い精度と自動化率を実現できる車載マッピングシステムの方法論を開発し、実際のシステムを構築することでその方法論の効果を実証したことが、本論文の成果であり、今後の高精度 3 次元道路地図への需要の高度化を考えると社会への貢献度も非常に高いと判断される。すなわち本論文は社会基盤学、測量学に進展に多大の貢献をしていると考えられる。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。