

審査の結果の要旨(案)

氏 名 カチリ ユセフ

提出論文「Dense 3D SLAM Using Multi-Resolution Volumetric Mapping and Real-Time Agile Tracking (多解像度立体地図生成と実時間敏捷追跡による稠密3D SLAM)」では、三次元のSLAM問題に対して多解像度占有地図表現法とそれに対する高速データ操作法を新たに提案した。これにより高精度の立体地図生成を高速かつ省メモリで実現可能なこと並びに幾何特徴追跡と画像特徴追跡の両アルゴリズムを統合し頑健なトラッキングが可能なことを示し、省メモリ性と高速性を特徴とする敏捷な実時間3D SLAMシステムの構成法を示したものである。

第一章「Introduction」では地図の生成とその中での自己位置同定を同時に行うSLAM(Simultaneous Localization and Mapping)問題について、従来の研究の発展を概観し、特に環境の三次元的な地図を生成する3D SLAMの重要性について指摘している。

第二章「Related Work」では3D SLAMの関連研究について記している、特にフィルタに基づく方法とグラフ最適化に基づく方法を、単眼カメラを用いた場合と距離カメラを用いた場合に関連して従来研究を整理し、現行の手法では省メモリ性と高速性の2つ観点からみてロボティクスへの応用では制約が大きいことを指摘している。

第三章「Pre-processing」では前処理部について記している。特にセンサで得られる情報の粒度と精度について評価し、入力情報のノイズ除去を行う方法としてセンサで得られる各点をノイズモデルに応じてその精度を評価しながら多解像度占有地図の適した階層で記憶する方法を示し、さらに複数の多種類センサへの対応を可能にしている。また、これらの方法はすべてGPU実装されており後段のCPU処理部分との並列実行による実時間処理を可能にしている。

第四章「Multi-Resolution 3D Volumetric Map」では広域地図の生成とその実時間の更新並びに参照が可能な多解像度の立体地図の構築手法について提案している。その基盤技術はLimited Depth Octree(LDO)と呼ぶ表現と構造とデータ型を統合した地図にある。ここでは表現と構造としてOctree表現の占有地図構造を採用し、その静的領域確保と各点のデータを16バイトに圧縮することで高速並列アクセスを実現している。さらに、このデータ型を活用した高速データ操作アルゴリズムとして高速近傍参照処理と高速最近傍計算処理を提案している。具体的には高速近傍参照処理ではステップ処理のための木構造のルートデータへの表を用い、高速最近傍点計算処理では高速ステップ

グ処理に加え、近傍データの訪問順を記した表とノードからその子ノードデータへの表の2つを組み合わせた手法で実現している。これにより100万点挿入処理と探索処理においても実時間処理が可能なことシミュレーションデータにより示し、また、実環境の実験において70平米程度の部屋を5mmの精度でモデリングする場合においても150MB程度の容量しか必要しないことを実証的に示している。

第五章「Direct and Model based Tracking」では生成された地図を用いた追跡処理として、最適化手法とモデルベース手法による稠密追跡技術を示した。それぞれの手法ではPhotometricとGeometricの2つの特徴を取り上げ、合計4つの手法の導出を行い高速化や頑健化を議論した。さらに、これらの手法の比較実験によりモデルベースのGeometric追跡器が収束性の観点から優れていることを明らかにし、最適化を用いたPhotometric追跡器を組み合わせることで更なる高精度性を実現することを示した。モデルベースの追跡は一般的には計算コストが高く実時間処理は困難であるが、第四章で提案したLDOを用いた高速近傍探索を導入することにより高速計算を達成することが出来ている。

第六章「Full 3D SLAM」では第三章、第四章、第五章で示した前処理、地図生成、追跡器を統合し、さらに表示器、ループ検出器とループクロージング器を含んだFull 3D SLAMシステムの構成を示し実証実験を行っている。構成したシステムは4コアで50 GFLOPS程度のCPUと50コア程度のGPUを搭載した一般的な計算機で駆動可能なものであり、実際に構築したFull 3D SLAMシステムにより、約100m四方の2フロア分の逐次地図生成拡張と自己位置更新が20Hzのリアルタイムで可能なことを示している。

以上、これを要するに本論文は、Limited Depth Octree(LDO)と呼ぶ省メモリ性と高速アクセス性を特徴とする多解像度占有地図のデータ構造とそれを活用した高速近傍参照処理と高速最近傍点計算処理を提案し、このデータ構造処理とセンサノイズモデルを活用した実時間のGeometricモデルベース追跡器をと、Photometricな最適化追跡を組み合わせることでより精度の高い実時間敏捷追跡器を提案した。さらに、表示器、ループ検出器、ループクロージング器を統合したFull 3D SLAMシステムを構成し、これを用いて従来にない広範囲の3D地図生成が実時間で可能なことを実証的に示しており、知能機械情報学の分野へ貢献する所少なくない。

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。