

論文内容の要旨

博士論文題目

Camera Pose Estimation for an Image Sequence with External References

(外部指標の併用による動画像からのカメラ位置・姿勢推定)

氏名 糸 秀行

(論文内容の要旨)

動画像からカメラの位置・姿勢情報とシーン内の特徴点の3次元情報を同時に推定するStructure-from-Motion (SfM)技法はコンピュータビジョン分野で開発された基本技術の1つであり、3次元復元、ロボット視覚、複合現実感など、多くの分野で利用されている。しかし、SfM法には長時間の画像系列に適用した場合に推定値に誤差が蓄積するという問題が存在し、広域環境での移動カメラ映像への適用が難しいという問題がある。これまでに推定誤差の蓄積を軽減する工夫が行われているが、外部指標を用いずに蓄積誤差をなくすことは原理的に不可能である。また、単一の外部指標でこの問題を解決することは難しい。このため、本論文では、この問題に対して、GPS測位値、航空写真、3次元点群データベースの3種類の外部指標を取り上げ、それぞれを併用することによってSfMによるカメラ位置・姿勢推定における蓄積誤差を軽減する手法を提案している。本論文は以下の5章から構成されている。

まず第1章では、SfM技法を概観するとともに、カメラ位置・姿勢推定における蓄積誤差軽減に係る技術課題を整理し、本研究の方針と本論文の構成について述べている。

第2章では、GPS測位値を併用することによる蓄積誤差の抑制を目的として、再投影誤差項とGPS測位の信頼度を考慮したGPS測位誤差項からなるエネルギー関数を定義し、最適化問題として拡張バンドル調整を定式化している。カメラとRTK-GPSからなる車載型システムを用いて屋外環境での実験を通して提案手法の効果を検証している。

第3章では、バンドル調整において、世界中の多くの場所で入手が容易な航空写真を外部指標として用いる手法を提案している。提案手法は、SfM、地上撮影映像と航空写真の間の特徴点マッチング、サンプリングに基づくバンドル調整からなっており、スマートフォンをセンサとした屋外実験によって有効性を検証している。

第4章では、SfMを用いて事前に構築した3次元点群データベースと画像上の2次元特徴点のマッチングによるカメラ位置・姿勢のオンライン推定法を提案し、車載カメラを用いた実験を通して効果を検証している。

最後に第5章では、本研究を総括するとともに、今後の展望について述べている。

(論文審査結果の要旨)

本論文では、Structure-from-Motion (SfM)による移動カメラの位置・姿勢推定における推定誤差の蓄積を軽減することを目的として、外部指標を併用する3つの手法を提案している。具体的には、GPS測位値、航空写真、3次元点群データベースを外部指標として用いる独立した手法の提案である。本研究は、具体的な3種類のアルゴリズムの開発とともに、それぞれの検証用の実験システムを試作し、屋外実環境での実験を通して提案手法の有効性と有用性を検証しているところに特徴がある。本論文の主要な成果は以下の3点に要約される。

1. 外部指標としてGPS測位を併用することによってSfMにおける蓄積誤差を抑制する拡張バンドル調整法が従来から提案されているが、カメラ位置・姿勢の推定はGPS測位値の信頼度に大きく依存することが知られている。本論文では、GPS測位値の信頼度を目的関数に組み込むことにより、拡張バンドル調整のための新たな最適化の枠組みを提案している。ビデオカメラとRTK-GPSからなる車載型システムを用いた屋外環境での実験を通して提案手法の効果を定量的に評価し、その有効性を検証している。

2. カメラの位置・姿勢推定のための外部指標として利用できるものに広範囲で入手が容易な航空写真があるが、従来、SfMのバンドル調整に航空写真を利用する試みは報告されていない。本論文では、地上撮影画像と航空写真の間の特徴点マッチングを用いるSfMの新しい枠組みを提案している。カメラ、GPS、ジャイロセンサを内蔵するスマートフォン上に提案手法を実装し、屋外実験によって有効性を検証している。

3. SfMを用いて事前に構築した3次元点群データベースを外部指標として、画像上の2次元特徴点と3次元点のマッチングによるカメラ位置・姿勢のオンライン推定法を提案している。トポロジカル情報と画像特徴からデータベース内の類似画像を検索するところに特徴がある。車載カメラを用いた実験を通して提案手法の有効性を検証している。

以上述べたように、本論文では、コンピュータビジョンにおける基本的な問題である移動カメラの位置・姿勢推定における蓄積誤差の抑制に関して、具体的なアルゴリズムを開発し、実環境での実験を通して、その有効性と有用性を検証している。本研究は、コンピュータビジョン分野において、学術と実用の両面での貢献を認めることができる。本論文の主要部分に相当する内容については、学会論文誌に論文が掲載されるとともに、国際会議等においても公表されている。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。