

## 論文内容の要旨

### 博士論文題目

複数の動画像を用いたカメラパラメータ推定に基づく屋外環境の三次元モデル化に関する研究

氏名 佐藤 智和

### (論文内容の要旨)

動画像からの屋外環境の三次元モデル化は、物体認識、景観シミュレーション、ロボットナビゲーション、複合現実感など、様々な分野への応用が可能である。しかし、現在このような分野で用いる三次元モデルは主として手動で作成されているため、モデル作成コストが高いという問題を抱えており、その自動化が強く求められている。これらを自動化するための試みとして、従来から、動画像を用いる三次元復元手法に関する研究が盛んであるが、復元範囲や復元精度に問題があるために、広域で複雑な屋外環境を精度良く復元するには至っていない。そこで、本研究では、複数の動画像と三次元位置が既知の基準マーカを入力として用いることで、特徴点追跡に基づくカメラパラメータの自動推定と多視点ステレオ視により、広域で複雑な屋外環境を精度良く復元し、三次元モデルを構築する手法を提案している。本論文は以下の4章から構成されている。

第1章では、現実環境の三次元モデル化に関するコンピュータビジョン研究を概観し、本研究の位置づけと研究方針について述べている。

第2章では、三次元位置が既知の基準マーカと自然特徴点を動画像上で追跡し、カメラの移動パラメータを精度良く推定する手法を提案している。ここでは、特徴点の自動切替え追跡とロバスト推定手法の採用により、動画像系列における特徴点の隠蔽に対して頑健なアルゴリズムを示している。また、現実環境を撮影した動画像を入力とし、精度評価実験を行うことで提案手法の有効性を検証している。なお、基準マーカは原理的には動画像の初期フレームにおいて6点以上与えられていればよいが、長い動画像系列を用いた場合の推定誤差の蓄積を避けるために、実験では、初期フレーム、中間フレーム、最終フレームにおいて、三次元測量機器を用いて計測した対象シーン内の特徴点を基準マーカとして指定している。

第3章では、カメラパラメータが推定された複数の動画像系列を用いて多視点ステレオ視により環境の三次元モデルを構築する手法を提案している。具体的には、第2章で得られた動画像の各フレームに対するカメラの位置・姿勢情報を用いた数百フレームの画像に対する拡張マルチベースラインステレオ法の適用により、各フレームでの奥行き情報を密に推定し、それらをボクセル空間に統合することで、テクスチャ付き三次元モデルを構築する手法を提案している。なお、複数の動画像系列から得られた結果の統合は、複数動画像において共通の基準マーカを撮影しておくことによって容易に実現される。また、実際に、建物と町並みを対象として、複数の動画像系列を用いた屋外環境の三次元モデル化結果を示し、提案手法の有効性を確認している。

最後に、第4章では、本研究の総括として、得られた成果に対する考察と今後の展望について述べている。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、コンピュータビジョン分野における中心課題である動画像からの三次元復元の問題を扱っている。この問題は Shape-from-Motion と呼ばれ、従来から、制約条件下での理論的な探求と数値解法に関する研究が盛んに行なわれてきたが、一般的な屋外環境を扱える頑健な手法の確立には至っていなかった。本研究では、複数の動画像と三次元位置が既知の基準マーカを入力として用いることで、特徴点追跡に基づくカメラパラメータの自動推定と多視点ステレオ視により、広域で複雑な屋外環境を精度良く復元し、三次元モデルを構築する実用的な手法を提案している。本論文の成果は以下の3点に要約される。

1. 屋外環境において建物等の全周形状を復元するためにはカメラを移動させながら撮影し、正確なカメラ移動パラメータが得られている必要があるが、一般に、広域な環境でカメラを高精度に制御することは難しい、手持ちカメラ等では正確な移動パラメータを求めることは難しい、という問題があった。このような問題に対して、本論文では、(1) 三次元位置が既知の基準マーカを併用することによるカメラパラメータ推定におけるスケールの決定と累積推定誤差の抑制、(2) 基準マーカと自然特徴点の自動切替え追跡とロバスト推定手法の採用による特徴点の隠蔽に対して頑健な特徴点の三次元復元とカメラ移動パラメータ推定、を実現している。

2. 上記1で得られた動画像の各フレームに対するカメラの位置・姿勢情報を用いた数百フレームの画像に対する多視点ステレオ法の適用により対象シーンの密な奥行き画像を獲得する手法を提案している。これによって、手持ちカメラ等を用いて対象を周囲から撮影した動画像から対象の三次元形状を復元する手法を確立した。本手法は、対象の形状・大きさや撮影条件に関してほとんど制約がなく、実用性の高さが特長である。

3. 数百フレーム規模の奥行き画像をボクセル空間で統合することによって対象物体のテクスチャ付き三次元モデルを構築する手法を提案している。本手法は、複数動画像において共通の基準マーカを撮影しておくことによって、複数動画像系列から得られた結果の統合も容易であるという特長を持っている。

以上述べたように、本論文では、動画像からの環境の三次元モデル構築に関して新しい手法を提案し、実データを用いた実験によって有効性を検証している。提案手法はその新規性に加えて、実用性の高さが評価できる。本研究は、「屋外実環境を対象とした動画像からの三次元復元」に関する先駆的な研究として評価でき、コンピュータビジョン分野において、学術、実用の両面での貢献を認めることができる。なお、本論文の主要部分に相当する内容は、学術雑誌論文2件、同レター1件、査読付国際会議発表4件として公表されている。また、本論文内容の一部の口頭発表に対して電子情報通信学会学術奨励賞等を授与されている。

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。