

3次元復元のためのバンドル調整の実装法と評価

Implementation and Evaluation of Bundle Adjustment for 3-D Reconstruction

金谷健一† 菅谷保之‡

Kenichi Kanatani†, Yasuyuki Sugaya‡

†岡山大学 ‡豊橋技術科学大学

†Okayama University, Japan, ‡Toyohashi University of Technology, Japan

E-mail: kanatani@suri.cs.okayama-u.ac.jp, sugaya@iim.cs.tut.ac.jp

1 背景

「バンドル調整」とは多画像間の対応点からシーンの3次元形状を計算する基本的な手法であり, 計算した3次元形状を計算したカメラパラメータによって画像面に再投影したとき「再投影誤差」と呼ばれる観測データとの食い違いをなるべく小さくするためにすべての未知数(カメラの内部, 外部パラメータ, および3次元形状)を探索することである. その原理は教科書に示され[1], ダウンロードして使用できるツールも提供されている[2]. しかし, 自分でプログラムを書いて実装しようとする, 具体的な計算式まで記述されていないなど詳細が不明な部分も多い. 完成品があるなら自分でプログラムを書く必要がないという考え方もあるが, 特定の応用のために一部を取り出したり, 一部を改変したりしたいという要求も生じる.

2 目的

本論文の目的はバンドル調整の実装法の詳細を記述し, 計算すべき式を“すべて”陽に書き下すことである. 本論文の実装法で特に着目するのはカメラ回転の簡明な取扱い方, および特徴点と画像数が多いときの計算とメモリの効率化である. そして, 2画像からの基礎行列の計算, および多画像からの3次元復元に対する実験を行い, 本論文の実装の性能を評価する.

3 特徴

本論文の実装法は計算を理論的に最も合理的と考えられる形で行い, 計算とメモリの効率化も最も標準的な方法を採用している. 一方, 提供されているプログラム[2]ではそれ以外に実行速度や収束を速める独自の工夫や技法を導入しているので, 最終的な性能は高い. しかし, 本論文の目的は従来にない高性能なシステムを提供することではなく, 「基本構造を明らかにする」ことである. 実験によれば本論文の実装法で実用上, 十分な精度と計算速度が達成されていると考えられる.

4 実行例

英国 Oxford 大学が提供している実測データ¹に対して実験を行った. その1フレームを図1(a)に示す. こ

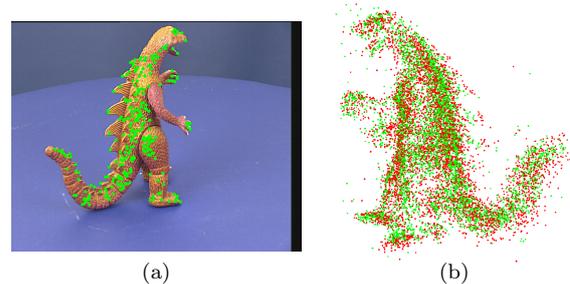


図1 (a) 用いた36画像中の一つ. (b) 3次元復元例.

れは恐竜の模型を回転台に載せて, 36方向から撮影したものである. 抽出した特徴点は合計4983個あり, それぞれ2~21フレームに渡って対応付けられている.

未知数が15266個あるので, 反復的に解くべき連立1次方程式の行列要素は約2億個になり, 計算機内にそのままでは格納できない. しかし本論文に述べる方法を用いれば約41万個(約6百分の1)のメモリに格納できる. 最小二乗法による初期復元の再投影誤差は一つの1特徴点当たり3.27797画素であったが, バンドル調整の結果1.625876画素に低下した. 反復回数は149回であり, 実行時間は21分51秒であった². ただし, C++言語を用い, CPUにはIntel Core2Duo E6750, 2.66GHz, 主メモリ4GB, OSにはWindows Vistaを用いた. 図1(b)は復元した各点の3次元位置をある方向から眺めたものであり, 最小二乗法による初期位置(濃い点)と最終的な復元位置(薄い点)を重ねて表示している.

参考文献

- [1] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2004.
- [2] M. I. A. Lourakis and A. A. Argyros, SBA: A software package for generic sparse bundle adjustment, *ACM Trans. Math. Software*, **36**-1 (2009-3), 2:1-30.

¹<http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/data.html>

²文献[2]のツールは他の問題は解けるが, このデータではエラーが出て計算が停止した. 人のツールなので原因が解明できない.