

## ピクセルワイズな対応点からの3次元広域地形復元

橋本 真一<sup>†</sup> 矢口 勇一<sup>†</sup> 成瀬 継太郎<sup>†</sup>会津大学大学院コンピュータ理工学研究所<sup>†</sup>

## 1. はじめに

コンピュータビジョンの分野において、様々な3次元形状の手法が開発されている。それらの研究では、LIDAR [1]や全方位カメラ [2]などの特殊なセンサによる画像以外の付加情報を用いて行うものも多く存在する。一般に撮影する場合には、それらを計測するのは容易ではない。

また、それらの研究の多くでは復元する対象が都市や建物のような人工物である [3]。人工物でない自然地形の形状復元は、災害現場の調査や道路建設の計画などへの応用が考えられ、重要な研究である。しかし、自然地形画像は人工物画像と比較して特徴となるテクスチャが少なく、形状復元がより難しい。

溝江ら [4]は、一般的な単眼のカメラで空撮された自然地形を因子分解法 [5]を用いて復元している。しかし、因子分解法は全てのフレームが復元する範囲の対応点を追跡しきれている必要があり、溝江らは広域を復元するのにいくつかの領域に分割してそれぞれの範囲を因子分解法で復元し、最後に全ての形状を推定で結合している。

本研究では、一般のカメラで撮影された自然地形画像列から密な広域地形形状復元を目指す。密な対応点は2DCDP [6]を用い、形状復元にはバンドル調整 [7]を用いて、形状を分けることなく復元する。

多くの密な対応点による形状復元の研究では、疎な対応点を用いて初期の形状を計算した後に、密な形状に修正するという手法をとっているが [8]、本研究では初期から密な形状を計算する。

## 2. システム概要

提案手法の一連の流れを、図1に示す。最初に画像列をいくつかの画像列に分け、画像列の中で復元する領域を切り取り、2DCDPによりそれぞれの画像列から密な対応点を得る。バンドル調整は、初期形状と投影行列を与える必要があるため、投影行列を計算するための姿勢推定を因子分解法で行う。各画像間の対応点を結合し、得られた投影行列から初期形状を最小二乗法によって計算する。

## 3. バンドル調整

バンドル調整の原理は再投影誤差を最小にするように3次元形状と投影行列を同時に補正するものである。フレームがM枚で対応点がN個である時の最

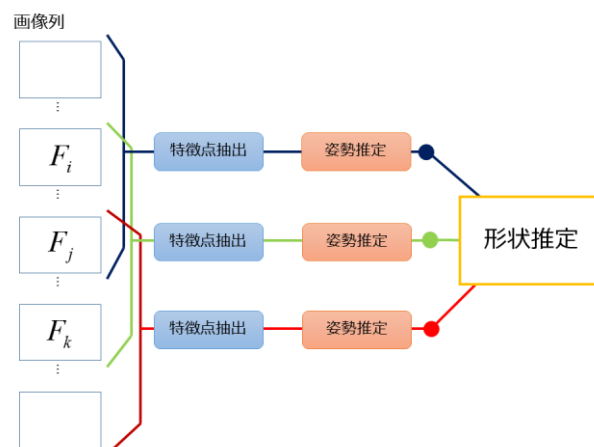


図1 システム概要

投影誤差は式(1)で定義される。

$$\sum_{\alpha=1}^N \sum_{\kappa=1}^M I_{\alpha\kappa} \left[ \left( \frac{p_{\alpha\kappa}}{r_{\alpha\kappa}} - x_{\alpha\kappa} \right)^2 + \left( \frac{q_{\alpha\kappa}}{r_{\alpha\kappa}} - y_{\alpha\kappa} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$(x_{\alpha\kappa}, y_{\alpha\kappa})$ は第 $\kappa$ フレームに写っている第 $\alpha$ 特徴点の座標であり、 $p_{\alpha\kappa}, q_{\alpha\kappa}, r_{\alpha\kappa}$ は三次元点と投影行列から計算されるパラメータである。また

$$I_{\alpha\kappa} = \begin{cases} 1 & \text{第 } \kappa \text{ フレームに第 } \alpha \text{ 点が写っている} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

である。

## 4. 2DCDP による対応点

2DCDP はピクセルワイズなマッチング手法である。復元領域を参照画像 (ROI と呼ぶ) とし、ROI を完全に被覆する複数枚の画像列に2DCDPを適用する。同じROIを適用した画像間ではROIのある点とマッチしている点を対応させる。異なる復元領域を対応させる場合には、異なる画像列間の共通するフレームに異なるROIをマッチングさせ、ROI同士の対応を得る。

## 5. CG データによる実験

起伏のある地表面にランダムテクスチャを貼り付け撮影したものを復元する。画像サイズは入力が320x180でROIは240x120である。実験では3つのROIを結合する。その対応点の総数は52284点であり、フレーム数は19枚である。因子分解法の計算

には金谷らのプログラムを使用し<sup>1</sup>、擬似透視投影モデルを仮定した。バンドル調整の反復は、差が549.684 以下になったら中断するようにした。表 1 に形状の再投影誤差を示す。

初期形状	バンドル調整	比率
8324735.212	6261693.1	0.752

表 1 それぞれの形状の再投影誤差

## 6. まとめ

本論文では、密な対応点からバンドル調整を用いた広域に渡る自然地形の形状復元手法を示した。実験では3つの復元領域が違和感なく結合できていることを示した。大規模な範囲を復元する場合には対応点が膨大になり計算が困難になるため、大規模な範囲に対応できる計算の手法を開発することが今後の課題となる。

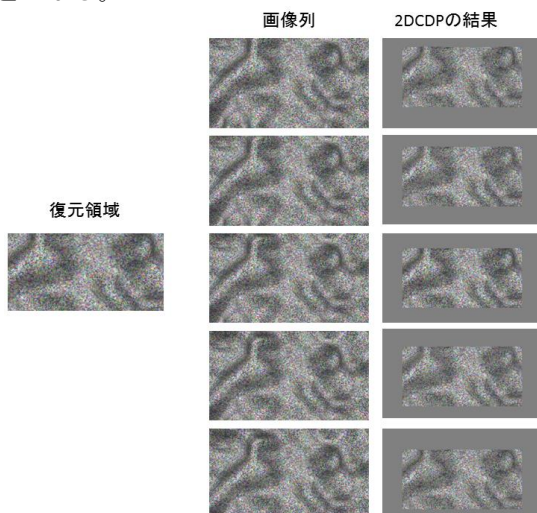


図 2 2DCDP による対応点 (7 枚中 5 枚を表示)



図 3 結合する ROI

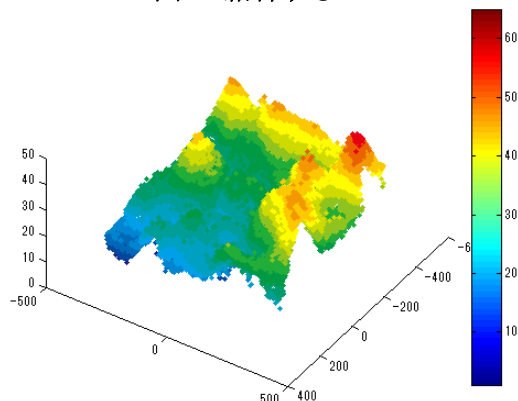


図 4 バンドル調整で得られた形

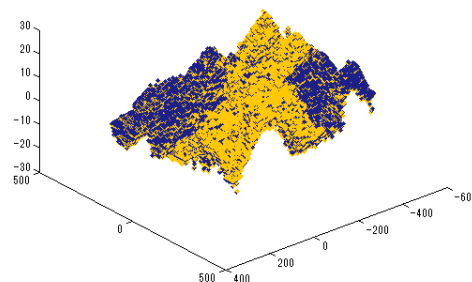


図 5 形状の変化(黄が初期、青がバンドル調整)

## 参考文献

- [1] T. Schenk and B. Csathó, "Fusion of LIDAR data and aerial imagery for a more complete surface description," *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 34, pp. 310-317, 2002.
- [2] S. Miriam and G. Andreas, "Omnidirectional 3D Reconstruction in Augmented Manhattan Worlds," *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2014.
- [3] F. Leberl, H. Bischof, T. Pock, A. Irschara and S. Kluckner, "Aerial computer vision for a 3d virtual habitat," *Computer*, no. 6, pp. 24-31, 2010.
- [4] M. Shinya, Y. Yuichi, T. Kazuaki, O. Kazuhiro and O. Ryuichi, "Reconstructing 3D Land Surface from a Sequence of Aerial Images," *MVA*, pp. 365-368, 2011.
- [5] 金谷 健一, 菅谷 保之, "因子分解法の完全レビュー," *電子情報通信学会技術報告, PRMU2003-118 (2003-10)*, pp. 19-24, 2003.
- [6] Y. Yaguchi, K. Iseki and R. Oka, "Full pixel matching between images for non-linear registration of objects," *IPSN Transactions on Computer Vision and Applications*, vol. 2, pp. 1-14, 2010.
- [7] 岩本 祐輝, 菅谷 保之, 金谷 健一, "3次元復元のためのバンドル調整の実装と評価," *コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM)*, 第 卷 19, pp. 1-8, 2011.
- [8] F. Yasutaka and P. Jean, "Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, no. 8, pp. 1362-1376, 2010.
- [9] B. Horn and M. Brooks, "Shape from shading," 1989.

<sup>1</sup> <http://www.suri.it.okayama-u.ac.jp/program-3d.html>