

汎用デジタルカメラを用いた 2 視点からの 3 次元復元システム

三浦 衛† 酒井 修二† 石井 純平† 伊藤 康一† 青木 孝文†

† 東北大学 大学院情報科学研究科 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: †{miura,sakai,ishii,ito}@aoki.ecei.tohoku.ac.jp, aoki@ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 本稿では、汎用デジタルカメラを用いて撮影された 2 枚の画像から物体の 3 次元形状を高精度かつ高密度に復元するシステムを提案する。SIFT に基づく Structure from Motion では、特徴ベースの画像対応付けを用いて物体の 3 次元形状を復元するため、物体の詳細な立体構造を復元することが困難である。これに対して、本システムは、SIFT に基づく Structure from Motion と位相限定相関法に基づく画像対応付け手法とを組み合わせることで、高精度かつ高密度な物体の 3 次元復元を行う。提案システムの実演を通して、汎用のデジタルカメラを用いた非常に簡便な撮影から物体の詳細な 3 次元計測が可能であることを示す。

キーワード 多視点ステレオ, SIFT, structure from motion, バンドルアジャストメント, 位相限定相関法

1. はじめに

多視点画像を用いた 3 次元復元は、撮影された複数枚の画像から物体の表面形状を復元する技術であり、これまでに様々な手法が提案されている [1]。中でも、Structure from Motion (SfM) [2] は、カメラの他に特殊な設備を必要としないため、その利便性の高さから研究が盛んに行われている。SfM では、同一のカメラで移動撮影を行い、得られた多視点画像からカメラパラメータの推定と物体の 3 次元形状の復元を行う。このとき、多視点画像間に対応付けを行い、得られた対応点群とエピソード拘束を用いることでカメラパラメータの推定と物体の 3 次元形状の復元を同時に行うことができる。

近年、画像間の幾何学的変形や輝度変化に対してロバストな特徴量である Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) が提案され、SIFT に基づく画像対応付け手法によって多視点画像間を安定かつ高精度に対応付けることが可能になった [3]。さらに、SIFT に基づく画像対応付けから得られたカメラパラメータに対してバンドルアジャストメントを適用することで、カメラパラメータを高精度に推定できることが示された [4]。しかし、SIFT に基づく画像対応付け手法は特徴ベースの対応付け手法であるため、復元する物体によっては、画像において対応点数が少なかったり、ある領域に偏っていたりする。そのため、SIFT に基づく SfM では、疎な 3 次元点群しか得ることができず、物体の詳細な立体構造を復元するには不十分である。

これに対し、SIFT に基づく SfM と位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC) に基づく画像対応付け手法 [5] とを組み合わせることで、未校正カメラの移動撮影により得られた 2 視点の画像から高精度かつ高密度な物体の 3 次元復元を行うシステムを提案する。POC に基づく画像対応付け手法では、POC を用いた局的

な平行移動量推定を画像ピラミッドによる粗密探索と組み合わせることにより、ステレオ画像間の対応点をサブピクセル精度で検出できる。また、実験を通して、汎用のデジタルカメラを用いた非常に簡便な撮影により物体の詳細な 3 次元計測が可能であることを示す。

2. 汎用デジタルカメラを用いた 3 次元復元システム

本システムは、1 台の汎用デジタルカメラと計算機で構成される。本システムを用いた 3 次元復元の処理過程を図 1 に示す。詳細な処理の内容を以下に述べる。

Step 1: デジタルカメラで復元する物体を 2 回撮影し、取得した画像 I_1, I_2 をステレオペアとする (図 1(a))。

Step 2: Step 1 で撮影された I_1, I_2 から (i) 焦点距離 (画像に付随する Exif 情報から取得する)、(ii) カメラの撮像素子の大きさ、(iii) 撮影された画像の解像度を用いて、カメラの内部パラメータ A_1, A_2 をそれぞれ算出する。

Step 3: I_1-I_2 間で SIFT に基づく画像対応付けを行い、対応点を取得する (図 1(b))。

Step 4: Step 3 で得られた対応点群から RANSAC (Random Sample Consensus) [6] を用いて基礎行列 F を推定する。推定した基礎行列 F と、Step 2 で求めた A_1, A_2 から基本行列 E を求める。基本行列 E を特異値分解することでカメラの外部パラメータ (回転行列 $R_{1 \rightarrow 2}$ および並進ベクトル $t_{1 \rightarrow 2}$) を算出する。

Step 5: Step 2 と Step 4 で求めたカメラパラメータを初期値としてバンドルアジャストメントを適用し、カメラパラメータ $A_1, A_2, R_{1 \rightarrow 2}, t_{1 \rightarrow 2}$ の最適化を行う。

Step 6: Step 5 で求めたカメラパラメータを用いて I_1, I_2 を平行化する [7] (図 1(c))。

Step 7: Step 6 で平行化した I_1, I_2 について、1 次元 POC に基づく画像対応付け手法 [5] を用いて対応付けを行う (図 1(d))。

Step 8: Step 7 で求めた対応点群からカメラパラメータを用いて 3 次元復元を行う。

3. 実験結果

2. で述べたシステムを用いて、物体の 3 次元形状を復元した実験について述べる。実験に使用したデジタルカメラは、Panasonic 社の LUMIX DMC-GF1 である。撮影された画像の大きさは $4,000 \times 3,000$ 画素であるが、 $1,280 \times 960$ 画素に縮小して利用した。SIFT に基づく画像対応付けは OpenCV [8] を用いて実装した。また、バンドルアジャストメントについては、Sparse Bundle Adjustment (SBA) [9] を利用した。POC に基づく画像対応付けは、画像中の物体領域に 3 ピクセル間隔で格子状に配置された基準点について行った。画像対応付けのパラメータは、探索ウィンドウのサイズを 32 画素 \times 17 ライン、階層数を 4 とした。復元結果を図 2 に示す。復元に要する時間は、復元対象によって変化するが、およそ数秒～数十秒である。図 2 より、本システムによって物体の詳細な立体形状が復元できていることが確認できる。

4. まとめ

本稿では、SIFT に基づく SfM と POC に基づく画像対応付け手法とを組み合わせることで、汎用デジタルカメラを用いた 2 回の撮影により物体の 3 次元形状を高精度かつ高密度に復元するシステムを提案した。また、実験を通して、汎用のデジタルカメラを用いた簡便な撮影から物体の詳細な形状が高精度に復元できることを示した。今後の課題として、(i) 多視点画像からの 3 次元復元への応用や、(ii) GPGPU (General-Purpose Computing on Graphics Processing Units) を用いて動画からリアルタイムに 3 次元復元することを検討している。

文 献

- [1] R. Szeliski: “Computer Vision: Algorithms and Applications”, Springer (2010).
- [2] R. Hartley: “Multiple View Geometry in Computer Vision”, Cambridge University Press (2008).
- [3] D. G. Lowe: “Distinctive image features from scale-invariant keypoints”, Int’l J. Computer Vision, **60**, 2, pp. 91–110 (2004).
- [4] M. Brown and D. Lowe: “Unsupervised 3D object recognition and reconstruction in unordered datasets”, Proc. Fifth Int’l Conf. 3-D Digital Imaging and Modeling, pp. 56–63 (2005).
- [5] 柴原琢磨, 沼徳仁, 長嶋聖, 青木孝文, 中島寛, 小林孝次: “一次元位相限定相関法に基づくステレオ画像の高精度サブピクセル対応付け手法”, 電子情報通信学会論文誌 D, **J91-D**, 9, pp. 2343–2356 (2008).
- [6] M. Fischler and R. Bolles: “Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography”, Communications of the ACM, **24**, 6, pp. 381–395 (1981).
- [7] 徐剛, 辻三郎: “3 次元ビジョン”, 共立出版 (1998).
- [8] “Open Computer Vision Library”, <http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>.
- [9] M. Lourakis and A. Argyros: “Sba: A software

package for generic sparse bundle adjustment”, ACM Trans. Mathematical Software, **36**, 1, pp. 1–30 (2009).

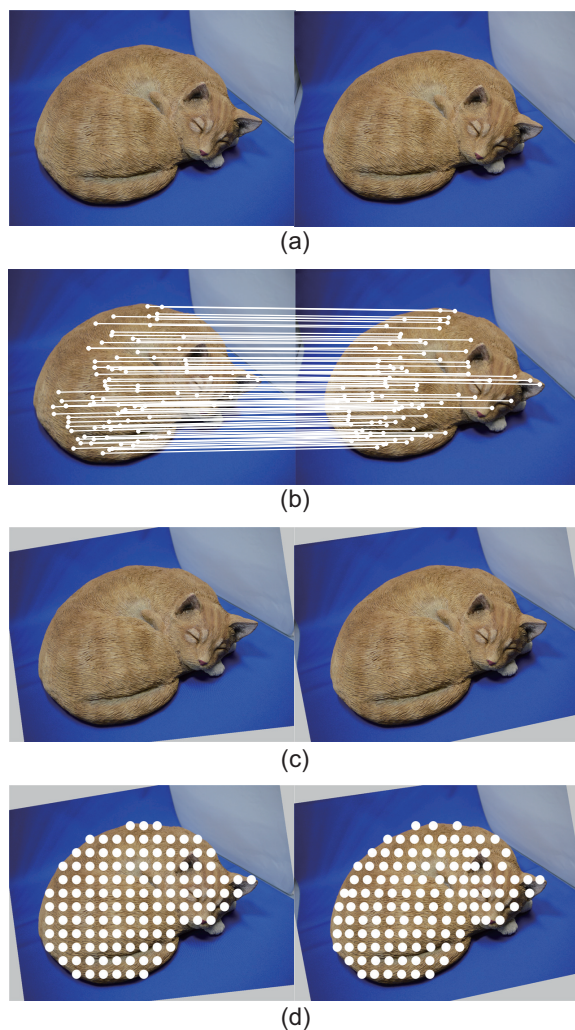


図 1 提案システムによる 3 次元復元の様子：(a) ステレオ画像，(b) SIFT に基づく対応付け結果，(c) 平行化後のステレオ画像，(d) POC に基づく対応付け結果

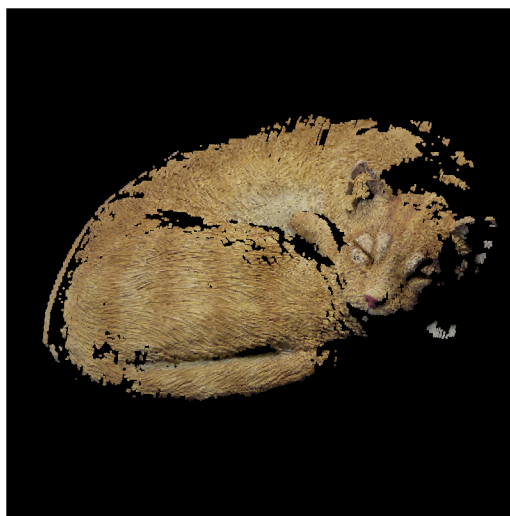


図 2 提案システムによる 3 次元復元結果