

再構成された 3 次元点群の位置修正と 自由視点画像の生成

Position correction of reconstructed 3D point cloud and rendering of free viewpoint image

電気電子情報通信工学専攻 原島 楓
Kaede Harashima

1 序論

自由視点画像の代表的な合成方式として、画像ベース方式[1]とモデルベース方式[2]があるが、前者は主にカメラ間の内挿画像の合成を目的としたものであり、自由視点画像を考えた場合は、一般に後者が用いられる。モデルベースの合成方式では、オブジェクトの 3 次元形状モデルを復元し、視聴者が選択する視点位置に応じて、多視点から得られる実写のテクスチャを適切な割合でマッピングすることで、任意の視点を再現することが可能である。しかし、大量のカメラが使用可能である等の特殊な撮影環境を持たない場合においては、高精度な復元に課題があった。一方で SfM (Structure from Motion) は 1 台のカメラを用いて移動しながら取得した画像から、3 次元点を推定する手法である[3]。この手法は、計測対象の 3 次元座標と同時に、カメラの移動情報、すなわちカメラの回転と並進移動の方向を推定する。SfM は自由視点画像の合成方式として一般的ではないが、2 つ以上の連続した画像に共通する特徴点を使い、点群を 3D 座標内に投影することが可能であり、投影された点群は自由な視点から観察することができるため、そのまま自由視点画像として利用することもできる。そのまま自由視点画像として用いる場合は、投影された点群の位置の精度が高く、

点の量が多くなければシーンを再構成することが難しい。Lipski らの研究[4]では、SfM によって推定された点を 3 次元座標内でワーピングし、任意の視点の画像平面に逆投影することで自由視点画像を生成している。この手法では SfM によって推定された点と、現画像の対応するピクセルとを比較し、SfM の点群を正しい位置に修正するが、点群の数が少ない場合は 3 次元点群の位置を近似する際に十分な量のピクセルがとれない状態になり、近似の精度が落ちてしまう。そのため、より多くの量の 3 次元点を SfM によって推定することが必要となる。

以上の課題を踏まえ、本論文では、5 種類の特徴量によって特徴点を取得し、それぞれにおいて再投影誤差の低い点を抽出し、合成することで SfM による点群の精度と点数を向上する手法を提案する。

2 提案手法

本研究では、MATLAB 環境において 5 種類の特徴点検出器によって特徴点を取得し、SfM によって 3D 座標へ投影し、再投影誤差の低い点を抽出、合成することで点群の精度と点数を向上する手法を提案する。まず、カメラの内部パラメータが未知だと仮定して、カメラキャリブレーションを行う。カメラの内部パラメータを取

得した後、わずかに視点の異なる画像を2枚取得、これらの画像を基に、SfMで3D点群を推定する。特徴点の取得方法を複数用意し、それぞれの手法において再投影誤差の少ない点のみを残し、最後に全ての点群を合成する。

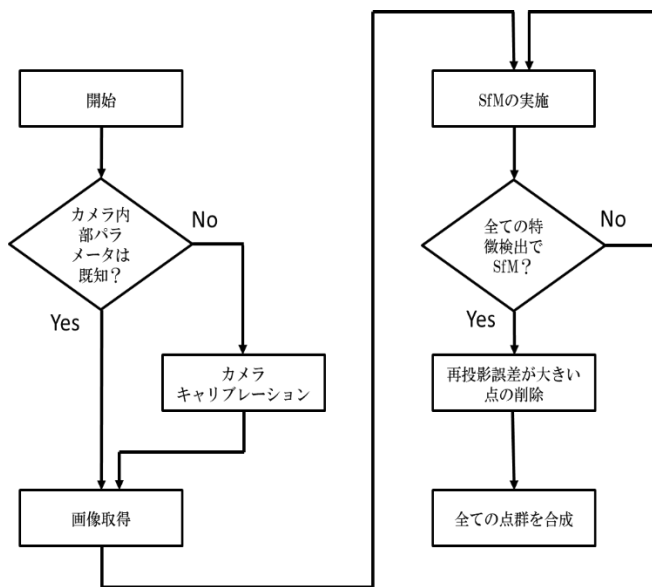


図1：提案手法の流れ

2.1 カメラキャリブレーション

実写画像を任意の視点から見た仮想的な画像に変換したり、画像からオブジェクトの位置を特定したりする場合、撮影しているカメラのカメラパラメータを算出する必要がある。カメラパラメータは内部パラメータと外部パラメータから構成され、内部パラメータはカメラ固有のパラメータである。そのため、内部パラメータは事前に一度測定すればその値を使い続けることができる。それに対し、外部パラメータは撮影シーンに応じて変化するため、シーンごとに計測する必要がある。

2.2 画像の取得

キャリブレーションが行われたカメラを使用し、画像を取得する。2枚の画像間でSfMを実施

するが、2画像間で撮影している対象が大きく離れていたり、カメラの位置が遠く離れてしまうと、特徴点の追跡ができなくなるため、1枚目の画像に対して、2枚目の画像はカメラの位置を僅かに動かした視点から撮影する。

2.3 画像間の対応関係

特徴点を検出し、2画像間で特徴点を追跡することで画像間の対応関係を得る。特徴点とは画像の特徴を表している点である。代表的な特徴点はコーナーで、図2に示すように局所領域に注目した際、どの方向に動かしても局所領域内に変化が起こるのはcornerのみであるため、cornerはコーナーを含んでいると判定できる。図に示すように本研究で扱う特徴点検出器は最小固有値アルゴリズム、FAST, Harris, BRISK, SURFの5つである。また、MATLAB関数triangulateを使用し直線線形変換(DLT)アルゴリズムを実行することで、画像間の対応関係に対応した3次元での座標を推定する。

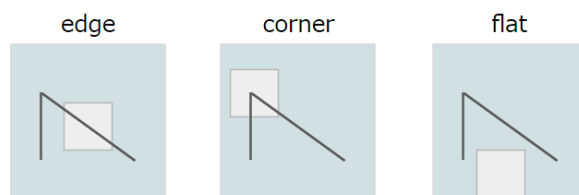


図2：特徴点の例

2.4 再投影誤差による点群修正

それぞれの特徴検出手法のSfMによって推定された3次元点群の外れ値を修正することで、元画像をより正確に3次元点群として再構成できる。外れ値の検出には再投影誤差を使用する。再投影誤差は、3次元点群を現画像の画像平面に再投影し、元のピクセルとの距離の差分をとっ

たものである。

外れ値は、再投影誤差の閾値を設けることで検出でき、閾値以上の再投影誤差を持つ 3 次元点を除外することで、3 次元点群を修正する。最適な外れ値を設定するには、実際に適当な閾値を設定し、検出できる点群が著しく減少する直前の閾値が最適な値となる。

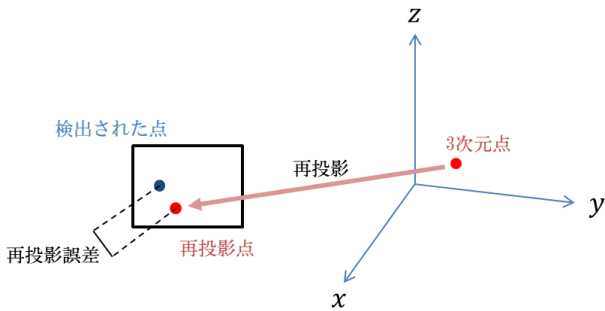


図 3 : 再投影誤差

3 実験

3.1 元画像の生成

POV-Ray 環境における、元画像を生成する。本手法において、視点が僅かに異なる 2 枚の画像が必要となる

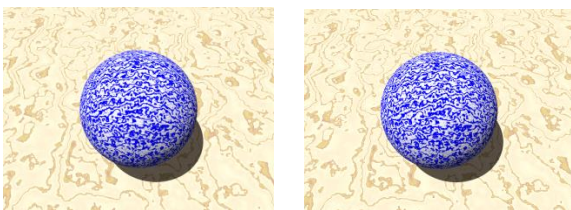


図 4 : 2 枚の元画像

3.2 再投影誤差の閾値設定

再投影誤差をどれだけ許容するかを決める閾値を決定するために、最小固有値アルゴリズムの特徴検出による SfM において、閾値を変化させた場合にどれだけの 3 次元点数が除外されるかを検証する。図 5 に閾値による除外点数の推移を示す。再投影誤差が 50pix 以上の点は存在せず、閾値 30pix から外れ値を除外することができ

る。閾値を 0.4pix より小さくすると、著しく除外する点数が増え、後の実験における点群の球オブジェクトへの近似をすることが不可能になってしまう。また、閾値を 0.8pix から 0.7pix に推移させた場合から、除外点数の傾きが増加傾向にあるため、後の実験の閾値を 0.8pix に設定する。

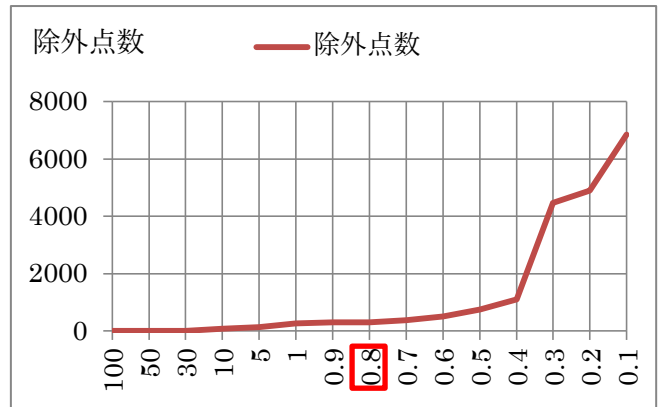


図 5 : 閾値による除外点数の推移

3.3 特徴量による 3 次元点数

表 1 にそれぞれの特徴検出手法を用いた場合の SfM による 3 次元点数と、再投影誤差の閾値 0.8pix の場合における、点群全体に対する外れ値の割合を示す。また、図 6 で FAST による 3 次元点群、図 7 で全手法において推定された点群を合成した様子を示す。図 6 と図 7 を比較してわかるように、推定される 3 次元点数が多いほど画像平面を占める点の割合が増えるため、点数が多いほどシーンが再構成されていると考えられる。

表 1 : 3 次元点数と外れ値割合

手法	除外後の点数	総数	除外点数	外れ値割合(%)
最小固有値アルゴリズム	14841	15151	310	2.05
FAST	10988	11046	58	0.525
Harris	10382	10595	213	2.01
BRISK	18333	18430	97	0.526
SURF	5480	5550	70	1.26

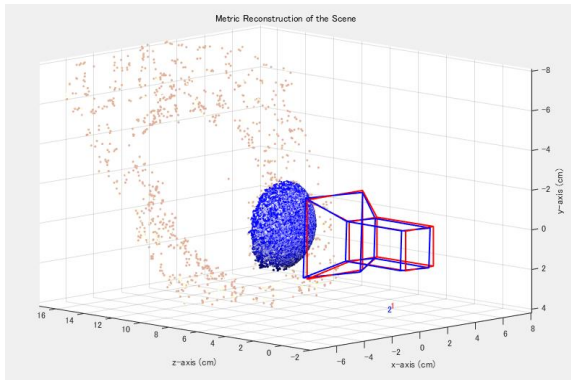


図6 : FAST による 3次元点群

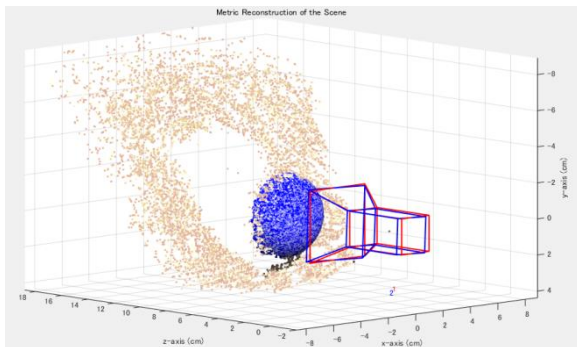


図7 : 全手法の点群を合成した 3次元点群

3.3 球オブジェクトによる評価

示された点群において、点群から球面への距離の差が 0.1pix 以下の球を近似することができる。元画像において原点から球の中心への距離は 9.01cm、球の半径は 2.5cm となっている。そのため、点群より近似された球の中心への距離と、半径を元画像と比較することで、推定された点群が原点に対してどの程度正しいかを評価する。これにより Harris 特徴検出器が最も 3次元点群の位置に誤差があることがわかる。また、表 1 で最も点数の多かった BRISK が点群位置の誤差も小さく、SfM による手法に適している。

表 2 : 球までの距離と半径の比較

手法	球中心までの距離(cm)	半径(cm)	球中心までの距離の誤差率(%)	半径誤差率(%)
元画像(真値)	9.01	2.5		
最小固有値アルゴリズム	9.27	2.45	2.89	1.89
FAST	8.95	2.42	0.666	3.2
Harris	9.32	2.6	3.44	4
BRISK	9.21	2.54	2.22	1.6
SURF	9.2	2.54	2.11	1.6

4 むすび

本論文では、特徴点検出器を用いて特徴点を検出、SfM によって 3次元点群を推定し、合成をすることで自由視点画像に近づけるという問題について扱った。提案手法の改善の余地としては、自由視点画像に近づけるために点量を増やすことや、点群の推定の精度を向上によって、合成を行った場合のズレを解消することが考えられる。点量の増加させるためには本論文で使用した特徴点検出器以外の検出器の仕様、2視点以上の画像を用いて、シーン全体を点群で再現するなどが考えられる。また点群の精度においては、シーンやオブジェクトによって検出器を使い分けて合成する手法など、検討の余地がある。

参考文献

- [1]N.Inamoto and H.Saito, "Virtual Viewpoint Replay for a Soccer Match by View Interpolation From Multiple Cameras," Proc. IEEE, vol. 9, no. 6, pp. 1155-1166, 2007.
- [2]T.Kanade, P.Rander, P.J.Narayanan, "Virtualized reality: constructing virtual worlds from real scenes," Proc. IEEE, vol. 4, no. 1, pp. 34-47, 1997.
- [3]Richard Hartley and Andrew Zisserman: Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, Second Edition, 2004.
- [4]Christian Lipski, Felix Klose and Marcus Magnor "Correspondence and Depth-Image Based Rendering a Hybrid Approach for Free-Viewpoint Video" Proc. IEEE, vol. 24, no. 6, pp. 942-951, 2014.