

360度カメラを用いた SfM の精度に関する検討

西島 啓斗[†] 蚊野 浩[†]京都産業大学大学院 先端情報学研究科[†]

1. はじめに

Structure from Motion (SfM) は、複数の画像からシーンの 3 次元構造を復元する技術である。通常のカメラで広い空間を SfM する場合、大量の画像を撮影する必要がある。これは通常のカメラの視野が狭く、一度に広い範囲を写すことができないことが原因の一つである。

一方、360 度全周囲を撮影できる 360 度カメラが手軽に入手できるようになっている。本研究は、通常のカメラによる SfM と比較して、360 度画像による SfM の復元精度がどの程度向上するかをシミュレーションで明らかにする。

2. Structure from Motion

2 枚の画像を撮影したとき、対応点の画像座標の間に、式(1)のエピポーラ拘束条件が成り立つ。

$$\tilde{m}_2^T F \tilde{m}_1 = 0 \quad \cdots(1)$$

ここで、 $\tilde{m}_1, \tilde{m}_2$ は対応する画像座標の同次座標表現である。行列 F は、2 点の間の関係を表現する 3×3 の行列であり、基礎行列と呼ばれる。基礎行列は、画像を撮影したカメラの内部パラメータと、カメラ間の移動情報である外部パラメータによって決まる。基礎行列と内部パラメータから、外部パラメータのみでエピポーラ拘束条件を表現する行列 E を得る。これを基本行列と呼び、式(1)と類似の関係が成り立つ。基本行列 E によるエピポーラ拘束条件は、焦点距離が 1 で画像の原点が画像中心と一致する、正規化されたピンホールカメラで成立する条件である[1]。

通常のカメラによる撮影画像から対応点の組を複数抽出し、8 点アルゴリズムなどを用いて、基礎行列を求めることができる。基礎行列から基本行列を求め、基本行列から 2 つの画像間でのカメラの移動量を表す外部パラメータを求めることができる。外部パラメータは並進量と回転量からなる。これらが分かれば、対応点の 3 次元位置を計算することができる。SfM は次のような流れで、連続的に上記の計算を行う。

1. 2 枚の画像から多数の対応点を抽出する
2. 対応点の集合から F 行列を推定する
3. F 行列から E 行列を求め、 E 行列を回転行列 R と並進ベクトル t に分解する
4. 対応点の 3 次元位置を計算する
5. 復元誤差を最小化するバンドル調整を行う

3. 360 度カメラ

全天 360 度を手軽に撮影できるカメラとして RICO THETA などがある。360 度カメラは、360 度の風景を正距円筒形式で保存する。図 1 に正距円筒画像の例を示す。本論文では、360 度カメラを単位球面でモデル化し、半径 1 の単位球面上に像が投影されると考える。



図 1 正距円筒画像の例

4. 提案手法

360 度画像を単位球面に投影すると、元の正距円筒画像の画像座標は、単位球面上の 3 次元座標に変換される。異なる位置で撮影した 2 つの 360 度画像に関して、単位球面に投影した 3 次元座標の間で式(2)のエピポーラ拘束条件が成り立つことが知られている[2]。

$$e_2^T E e_1 = 0 \quad \cdots(2)$$

ここで、 e_1, e_2 は単位球面上の 3 次元座標で、シーン中の同じ位置を観察する対応点である。単位球面は正規化された 360 度カメラであり、エピポーラ拘束条件の行列は基本行列 E である。

8 点アルゴリズムを使って、 E 行列の初期値を推定する。正しい E 行列は、第 1 特異値と第 2 特異値が等しく、第 3 特異値が 0 であることが知られているので、 E 行列の初期値をそのように調整し、 E 行列の推定値とする。そして E 行列を回転行列 R と並進ベクトル t に分解する。並進ベクトル t のスケールは決定することができないので、

A Study on the accuracy of SfM using a 360-degree camera

[†]Hiroto Nishijima, Hiroshi Kano, Division of Frontier Informatics, Kyoto Sangyo University Graduate School

並進ベクトルは単位行列として求める。

5. 実験

通常カメラで撮影した画像と 360 度カメラで撮影した画像の観察点座標を、次のようにシミュレーションで作成した。まず、原点から 2000～5000 の距離に、10000 個の 3 次元点をランダムに生成する。通常カメラは、画像面が 1024 画素×1024 画素の正方形で画角を 90 度に設定した。このように設定すると、すべての 3 次元点の中で、およそ 1500 点が投影される。投影される画像座標は整数化せず、浮動小数点精度で求めた。単位球面への投影は、3 次元点の長さを 1 とすることで行った。360 度カメラにおける観察点の数が、通常カメラでの観察点の数と等しくなるように、投影されたすべての観察点のうち、およそ 1500 点をランダムに残して残した。

また比較のために、すべての点が投影された単位球面画像から、通常画像に投影された 3 次元点を写した観察点のみを残した画像を作成した。この単位球面画像を単位球面 1 と呼ぶ。先に説明した、全方向の点を投影した単位球面画像を単位球面 2 と呼ぶ。

3 つの画像それぞれで、観察点にノイズを加える。通常画像には、x 軸、y 軸それぞれに標準偏差 1 の正規分布乱数を加えた。これは、ノイズの標準偏差が 1 画素に相当することを意味する。画角 90 度で 1024 画素×1024 画素の 1 画素の大きさを、単位球面上に対応させると、 $(2\pi/4)/1024 = 0.001533\dots$ となる。このことを考慮して、単位球面上で通常画像と同じ効果を持つノイズとして、観察点の接平面を考え、接平面を構成する 2 軸それぞれに標準偏差 0.001533...の正規分布ノイズを加え、再度、単位球面に投影した。

通常画像に対しては、MATLAB のコンピュータビジョンツールボックスの関数を利用して SfM を行った。360 度画像に対する SfM は、提案手法を MATLAB の自作スクリプトで実装した。

カメラを x,y,z 軸それぞれに 100 動かした場合の復元誤差を検証した。回転行列 R は、オイラー角に変換した後、真値との差のノルムを誤差とした。並進ベクトル t は真値との差のノルムを誤差とした。100 回実行したときの平均値を表 1 に、結果をグラフにしたものを図 2 に示す。

表 1 回転量・並進量の推定誤差

移動量	R の推定誤差			t の推定誤差		
	通常画像	単位球面1	単位球面2	通常画像	単位球面1	単位球面2
x=100	1.92×10^{-3}	3.87×10^{-4}	2.14×10^{-4}	4.19×10^{-2}	1.52×10^{-2}	3.59×10^{-3}
y=100	1.99×10^{-3}	3.45×10^{-4}	2.06×10^{-4}	4.26×10^{-2}	1.63×10^{-2}	3.31×10^{-3}
z=100	3.48×10^{-3}	4.98×10^{-4}	1.95×10^{-4}	8.12×10^{-2}	1.15×10^{-2}	3.49×10^{-3}

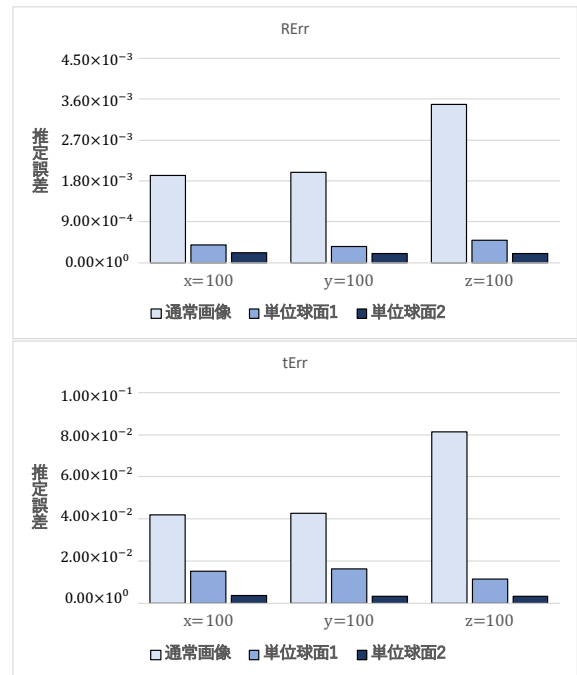


図 2 推定誤差
上：回転量 下：並進量

6. 考察

通常画像を用いた SfM と比較して、単位球面画像を用いた場合精度が向上していることが確認できた。特に、カメラを前方向に動かした $z=100$ の場合、通常画像では誤差が増加しているが、単位球面画像では変化が見られない。

単位球面 1 の復元精度と、通常画像の精度に大きな差が出ている。通常画像の周辺部は、中央部に比べて、引き伸ばされ、1 ピクセル幅で観察する角度範囲が狭くなる。この影響で、周辺部は観察点の密度が低くなる。これが原因で、通常画像で SfM を行ったときの精度が低くなっているのではないかと考えられる。

7. むすび

本研究では、2 枚の 360 度画像を使った SfM を実装した。結果として、通常画像を用いた SfM と比較した場合、精度の向上が確認できた。今後の取り組みとして、精度が向上する理由を明確にすることや、実際の 360 度画像を用いて、高精度な SfM を行うことがある。

参考文献

- [1] R.Hartley and A.Zisserman, “Multiple view geometry in computer vision,” 2004.
- [2] A. Torii, et.al., “Two- and Three- View Geometry for Spherical Cameras,” Proceedings of the 6th workshop on omnidirectional vision, camera networks and non-classical camera, pp.81-88, 2005.