

ズームカメラに対するカメラキャリブレーション

宇都木 修一[†] 鈴木 寿[‡]サレジオ工業高等専門学校[†] 中央大学[‡]

1. はじめに

画像を用いた距離計測は、広い範囲の距離情報を瞬時に取得することができ、原理的には距離に関する制約がないという特徴を持つ。これらの特徴は、カメラのズーム機能を用いることで、最大限に生かすことができる。画像による計測を正確におこなうには、カメラの位置、向き、焦点距離などのパラメーターを正確に求めることが欠かせない。そこで、本研究ではズーム機能によって焦点距離が連続的に変化する場合におけるカメラキャリブレーションについて、検討をおこなった。

カメラキャリブレーションは、既知の複数の3次元座標と、それらがカメラのスクリーン上に投影され際座標との対応から、カメラの回転量、平行移動量、焦点距離、レンズの歪み係数を非線形の最小二乗法によって求める。カメラキャリブレーションにおける非線形の最小二乗法では、カメラの回転量を表す回転行列の直交性の維持が問題となる。従来の多くのキャリブレーション方式では、非線形の最小二乗法を線形に近似して解き、回転行列については、得られた 3×3 の行列に最も近い回転行列を求めることで算出している。しかし、非線形の最小二乗法を線形に近似する方法では、撮影する点の取り方によって、誤差の影響が過大となる恐れがある。また、近似によって全体としては妥当な結果が得られたとしても、それぞれのパラメーターごとには、正確性が保証できない恐れもある。

例えば、Zhang[3]のキャリブレーションは、画像処理ライブラリ OpenCV にも搭載されている代表的な方式であるが、この方式は簡便にカメラパラメーターを求めることを主眼としており、3次元座標を用いずに2次元の情報のみでキャリブレーションをおこなっている。この場合、接近による拡大とズームによる拡大の区別がつかない恐れがある。簡便にレンズ歪みを補正し

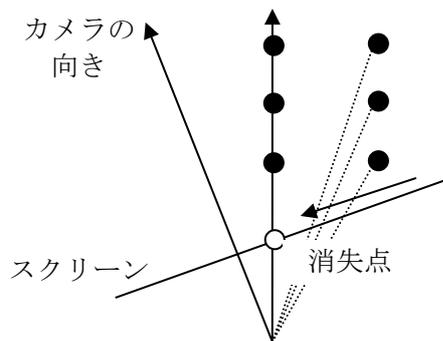


図1 消失点とカメラの回転量

たい場合などは有用であるが、精密な計測まで考慮した場合には、正確性についての保証がない。

パラメーターごとの正確性が保証できない場合、ズームカメラにおいて焦点距離をわずかに変化させてキャリブレーションをおこなったときに、その他のパラメーターについては大きく変動する可能性がある。その場合、推定が困難になるので、取りうるすべての焦点距離に応じてキャリブレーションをおこなうことが必要になってしまう。

そこで、本研究では消失点を利用して回転行列を求めてから、その他のパラメーターも極力独立して求める方式[1]を用いる。この方式はサンプル点の取得に多少の手間がかかるが、精密にパラメーターを求めることができる。本研究ではこの方式を用いて、焦点距離を一定間隔で変化させてキャリブレーションをおこない、得られたパラメーターの変化に対して、曲線のあてはめをおこなう。パラメーターの連続的な変化をモデル化することで、実際にキャリブレーションをおこなっていない状態のパラメーターについても、推定できるようになる。

2. 消失点を利用したカメラキャリブレーション

3次元空間内の平行な直線は透視投影すると、無限遠の点がスクリーン上の1点に収束する。これを消失点(無限遠点)というが、この点の座標はカメラの回転量の影響を受けるが、平行

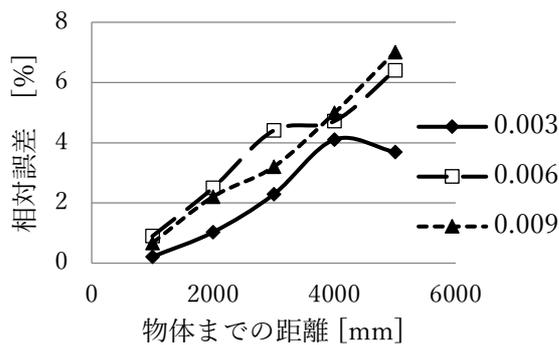


図 2 距離計測における相対誤差

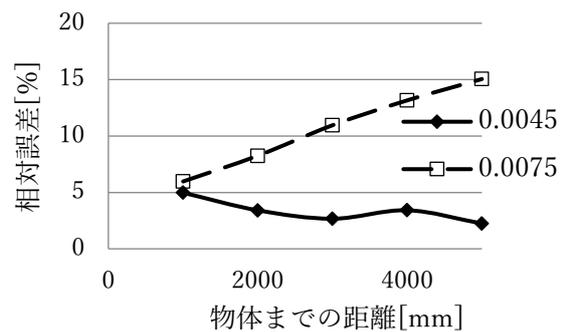


図 3 推定値を用いた距離計測

移動量の影響は受けない。したがって、平行移動量が未知であっても、座標軸に平行な直線の消失点の座標を求めれば、座標軸に対するカメラの回転量を算出することができる。

回転量を算出することができれば、その他のパラメータも順次求めていくことができる。求めるのは、 x 軸回りの回転量 ρ 、 y 軸回りの回転量 φ 、 z 軸回りの回転量 θ の他に、平行移動量 T_x 、 T_y 、 T_z 、スクリーンと光軸の交点である画像中心の座標 (u_0, v_0) 、画素の横幅を単位とした焦点距離 f_u 、横幅を単位とした焦点距離 f_v 、さらに、レンズ歪みの係数を求める。本研究ではレンズ歪みのモデルに、Weng[2] のモデルを採用する。

3. ズームカメラに対するキャリブレーション

実際にズーム機能を持つカメラに対してキャリブレーションをおこなった結果を示す。カメラは Panasonic 製 web カメラ BB-SC384B を用いた。消失点を利用したカメラキャリブレーションでは、サンプル点をカメラの光軸方向にスライドさせる必要がある。今回の実験では、サンプル平面を、電動のアクチュエーターで移動させて撮影したデータを用いて、キャリブレーションをおこなった。BB-SC384B では、ズームの度合いをパラメータで指定でき、0.0027 のときにズーム倍率 1 倍となる。ズーム倍率はパラメータの増加に対してほぼ線形に変化する。

4. 正確性の評価

キャリブレーションによって得られたパラメータがどれだけ正確かを評価するために、ステレオ視による距離計測をおこなった。まず、左右に並べて固定した 2 台のカメラに対して、ズームパラメータを 0.003 (1 倍)、0.006 (2 倍)、0.009 (3 倍) としてキャリブレーションをおこない、得られたパラメータを元に画像の補正をおこなったうえで、距離計測をおこなった。計

測値の相対誤差の変化を表したものが図 2 である。相対誤差はズームの度合いによらず、物体までの距離に依存するという結果が得られた。

次に、ズームパラメータに対するカメラパラメータの変化に対し、曲線のあてはめをおこなった。得られた曲線から、カメラパラメータを推定して距離計測をおこなった。図 3 がその計測結果の相対誤差であるが、ズーム倍率が低い場合は、対象までの距離を変えてもさほど変化しなかったが、ズーム倍率が高いと誤差が大きく増えるという結果が得られた。

5. おわりに

消失点を利用した正確性の高いカメラキャリブレーション方式を用いて、ズームカメラに対してキャリブレーションをおこない、ズームに伴うパラメータの変化を推定して、正確にキャリブレーションする方式について検証をおこなった。今回の実験では、高いズーム倍率では、距離計測の誤差が大きくなるという結果となったので、今後は高い倍率でも精密に距離計測できる方式について検討をおこなっていく。

参考文献

- [1] 宇都木 修一, 鈴木 寿, “消失点を利用した角度の算出に基づくカメラキャリブレーション,” 電子情報通信学会 PRMU 研究会技術研究報告, pp.99-104, 2月, 2018.
- [2] J. Weng, P. Cohen, and M. Herniou, “Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.10, pp.965–980, Oct. 1992.
- [3] Z. Zhang, “A flexible new technique for camera calibration,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.11, pp.1330–1334, Nov. 2000.