

画像 2 枚間の特徴点の移動量を用いた魚眼カメラの歪補正手法の構築

長澤 知史† 池 勇勲† 梅田 和昇†

†中央大学理工学部精密機械工学科

E-mail: nagasawa@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

1. 序論

魚眼カメラは超広画角であり、一度に広範囲の撮影が可能である。その特徴から、監視カメラシステムや自動車の視界支援システムなどの、広範囲かつ低コストなセンサシステムに有効である。

しかし、魚眼カメラから得られる画像は特有の歪を有しており、通常のカメラと同じ手法による利用は難しい。この歪を除去する画像処理を行う場合や、魚眼カメラによる計測を行う場合には、正確な魚眼カメラの内部パラメータの推定が必要である。

内部パラメータの推定手法は多く提案されているが、特別なターゲットと複数回の撮影を必要とする場合が多く、ターゲットの提示の仕方や回数により結果がばらつくことが考えられる[1]。また、1 度だけの提示で推定する手法も提案されているが、これは校正環境が大規模になるという問題がある[2]。これに対して、ターゲットを用いず、カメラの回転により内部パラメータを推定する手法も提案されている[3]。しかしながら、回転角度を精度よく制御可能な回転台を用いて多数フレームでの特徴点の移動量を求める必要がある。

そこで、本論文では、カメラの回転前後 2 フレーム間の特徴点の移動量のみを用いることで魚眼画像の歪の補正をより簡便に行う手法を提案する。これにより、ターゲットを必要とせず三脚などの一般的な機器で簡便に魚眼画像の補正を行うことが可能となる。

2. 魚眼カメラの射影方式

本手法で用いる等距離射影方式はシーンからレンズへの投射線がレンズの光軸となす角 θ [rad] と、画像平面上の像の高さ r [pixel] によって記述され、以下のモデル式で表される。

$$r = \delta \theta \quad (1)$$

$$\delta = f/w \quad (2)$$

ただし、 f は焦点距離[mm]、 w は画素サイズ[mm]である。現実のカメラは理想的な射影方式のモデル式

(1)に従わない。そこで、本研究では、特徴点の移動量を用いて魚眼画像を式(1)に従う画像に補正する手法を構築する。

3. 回転前後の画像 2 枚における特徴点移動量

3.1 魚眼カメラを回転させる条件

回転前後の特徴点移動量の取得の際には以下の条件を前提とする。

条件 1 特徴点は静止している。

条件 2 回転軸はカメラの光学中心を通る。

条件 3 回転軸とカメラの光軸は垂直。

条件 2 に関して、カメラの光学中心を正確に求めて回転軸を光学中心と合わせることは難しい。そこで、回転軸と光学中心の位置ずれの影響をなるべく小さくするように特徴点はなるべくカメラから遠い点であることが望ましい。

3.2 特徴点の移動量

AKAZE 特徴量を用いて 2 枚の画像における特徴点の抽出とマッチングを行う。各マッチングの結果より、特徴点の移動量を取得する。

回転前後 2 フレームの画像から抽出された特徴点とその移動量を Fig. 1 に示す。青点が前フレームの特徴点、黄点が後フレームの特徴点、赤線が前後フレーム間の特徴点移動量である。画像全体で多くの特徴点とその移動量が取得できていることがわかる。Fig. 2 は Fig. 1 と同じ環境で水平方向に 2° 回転させた時の特徴点移動量の変化を示している。移動量の大きい順に赤→緑→青で示す。画像周辺部ほど移動量が小さくなっていることがわかる。この魚眼カメラは等距離射影方式であるが、Fig. 2 では移動量の成分が画像中心方向のみである画像水平方向においても移動量は変化している。このことから、画像中心からの角度と距離が比例していない、つまり、式(1)に従っていないことがわかる。

本手法では、このような特徴点の移動量の変化を用いて、画像中心からの角度と距離の関係を推定し、

魚眼画像の補正を行う。



Fig. 1 特徴点とその移動量

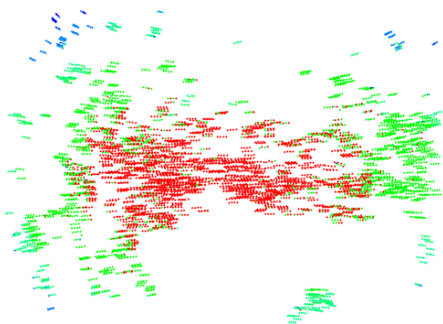


Fig. 2 特徴点移動量の変化

3.3 特徴点移動量と角度の関係

画像中心 $\mathbf{p}_0=(u_0, v_0)$ 基準の極座標系で、画像中心からの距離を ρ 、画像中心を通る画像水平方向からの角度を φ とする。魚眼カメラが $\Delta\alpha[^\circ]$ 水平回転したときのある点 $\mathbf{p}=(\rho_p, \varphi_p)$ からの特徴点移動量は $\Delta\mathbf{p}=(\Delta\rho_p, \Delta\varphi_p)$ と表せる。魚眼カメラの歪は ρ に依存するので、 $\Delta\rho_p$ のみを考える。

$\Delta\mathbf{p}=(\Delta\rho_p, \Delta\varphi_p)$ と画像水平方向 ($\varphi=0$) の点 $\mathbf{p}_{\varphi=0}=(\rho_p, 0)$ からの特徴点移動量 $\Delta\mathbf{p}_{\varphi=0}=(\Delta\rho_{\varphi=0}, 0)$ の関係は以下のようになる。

$$\Delta\rho_{\varphi=0} = \frac{\Delta\rho_p}{\cos(\varphi_p)} \quad (3)$$

これを用いて各特徴点移動量の画像中心方向成分を $\varphi=0$ での移動量に変換し、その変化率を利用して魚眼画像の補正を行う。

4. 補正值推定手法

4.1 補正值推定

画像全体で得られた各特徴点移動量 $\Delta\mathbf{p}=(\Delta\rho_p, \Delta\varphi_p)$ に式(3)を適用し、 $\Delta\mathbf{p}_{\varphi=0}=(\Delta\rho_{\varphi=0}, 0)$ に変換すると Fig.3 の点群が得られる。カメラの回転角 $\Delta\alpha$ での移動量

$\Delta\rho_{\varphi=0}$ の平均値として $\Delta\rho_{ave}$ を定義し、以下の式より $\Delta\rho_{\varphi=0}$ を正規化し、 E と置く。

$$E = \frac{\Delta\rho_{\varphi=0}}{\Delta\rho_{ave}} \quad (4)$$

E に対して 8 次方程式での曲線フィッティングを行い Fig. 4 の赤線の曲線 $E(\rho)$ を得る。 $E(\rho)$ は $\Delta\rho_{\varphi=0}$ に関する曲線であるので以下の式より Fig. 4 の青線の補正值曲線 $I(\rho)$ を得る。

$$I(\rho) = \frac{\int_0^\rho E(\rho)}{\rho} \quad (5)$$

魚眼画像の点 $\mathbf{p}=(\rho_p, \varphi_p)$ を以下の式を用いて補正画像の点 $\mathbf{p}'=(R, \varphi_p)$ へ補正する。

$$R = \frac{\rho_p}{I(\rho_p)} \quad (6)$$

これを全画素に適用することで、等距離射影のモデル式に従う補正画像を得る。

透視投影変換を行うには、レンズの画角と画像サイズとの関係が必要である。本研究では、レンズの画角が既知であるとする。また、画角の半分に対応する画像サイズを R_{max} と置く。 R_{max} は魚眼画像を二値化した後、画像の端で円近似し画像中心 $\mathbf{p}_0$ との距離の平均をとることで求める。

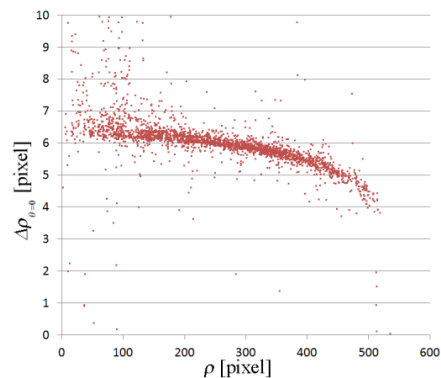


Fig. 3 $\Delta\rho_{\varphi=0}$ と ρ の関係

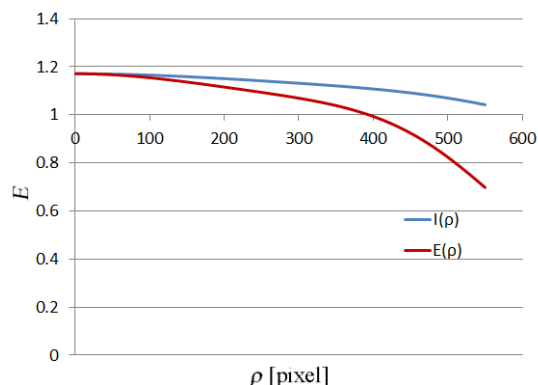


Fig. 4 曲線 $E(\rho)$ と補正值曲線 $I(\rho)$

4.2 回転角度 $\Delta\alpha$ の影響

Fig. 5 に $\Delta\alpha = 1, 5^\circ$ のときの E を示す. Fig. 5 より点群の分布はほぼ重なっていることから, 得られる $I(\rho)$ は角度に依らないといえる. 観測誤差などの影響を小さくするためには, $\Delta\alpha$ を大きくする必要がある. 一方で, Table 1 に示すように角度が大きいほど得られる特徴点移動量は減っており, 特に ρ が小さい領域におけるばらつきも大きくなっている. 以上より, $\Delta\alpha$ は任意の値でよいが, データ点数を十分に取れる範囲で大きい方がよいと考えられる.

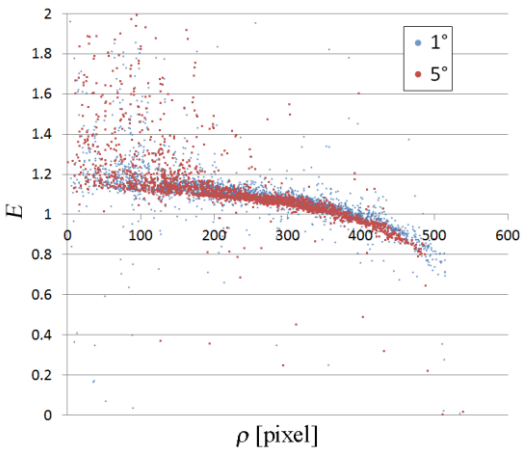


Fig. 5 回転角度に対する E の比較

Table 1 角度とデータ点数

$\Delta\alpha [^\circ]$	1	5
データ点数	2830	2627

5. 実験結果

5.1 補正結果

提案手法を用い実機での魚眼画像の歪補正を行った. 画像中心座標は OcamCalib [1]を用い求めた. 入力画像を Fig. 6 に, 等距離射影への補正結果を Fig. 7, 透視投影変換したものを Fig. 8 に示す. 得られた $I(\rho)$ を Fig. 9 に示す. Fig. 8 より, チェッカーボードの歪が取れており, 提案手法により補正ができていることがわかる.

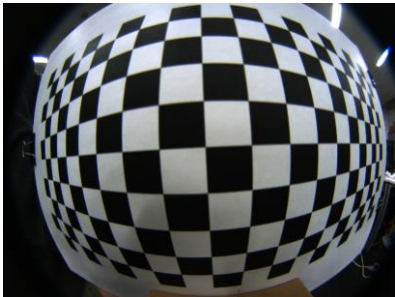


Fig. 6 入力画像

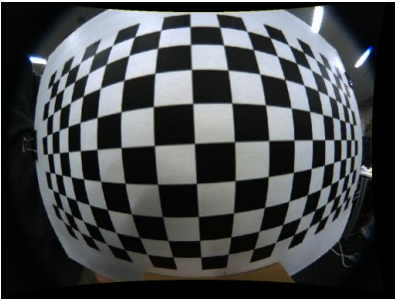


Fig. 7 補正結果

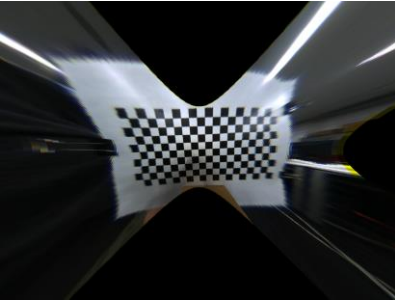


Fig. 8 透視投影変換結果

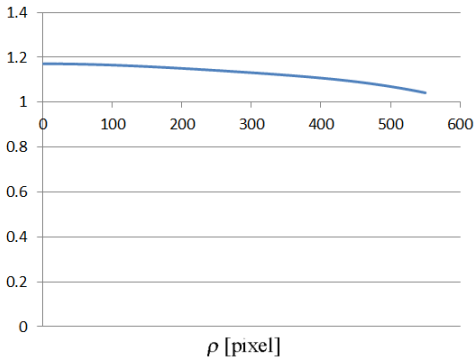


Fig. 9 補正值曲線 $I(\rho)$

5.2 考察

5.1 節の提案手法での透視投影変換結果と, OcamCalib [1]での透視投影変換結果 Fig. 10 とカメラの回転により内部パラメータを推定する手法である既存手法[3]での透視投影変換結果 Fig. 11 を比較し考察する.

チェッカーボード画像の格子点を抽出し, 直線あてはめを行い, その残差 2 乗の総和を比較したものを Fig. 12 に示す. Fig. 12 より, 提案手法は既存手法

より精度が良く、OcamCalib と同程度の結果となった。回転軸が光学中心と一致していないことから補正精度の低下が起これと考えられるが、特徴点とカメラの距離が十分に遠かったことと、特徴点が十分な数取得できたことから補正精度の低下が抑えられたと考えられる。

OcamCalib と既存手法は魚眼カメラモデルとして汎用的な全方位カメラモデルである Ocam モデル[1]を用いているため、内部パラメータの推定可能な魚眼カメラの画角の上限が 195°である。一方で、本手法は魚眼カメラモデルとして、画像中心からの距離と一定の角度ごとの画像上の距離の変化率を用いているため、事実上画角の制限はないと考えられる。

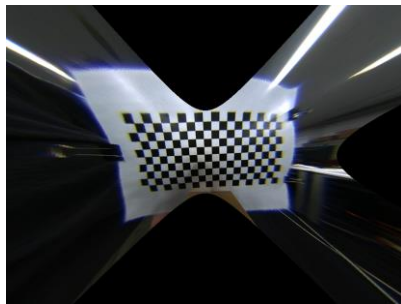


Fig. 10 OcamCalib[1]での透視投影変換結果

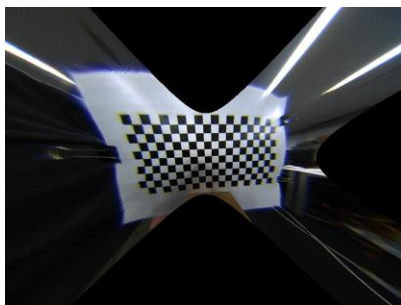


Fig. 11 既存手法[3]での透視投影変換結果

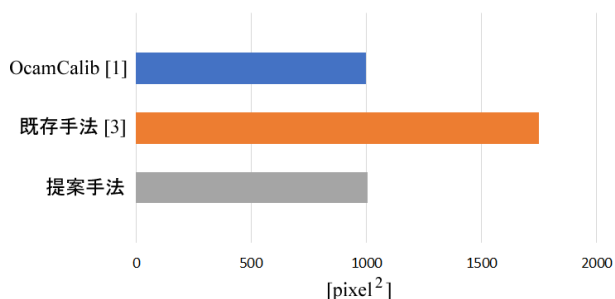


Fig. 12 既存手法との比較

6. 結論

本研究では、回転前後の 2 枚の画像間での特徴点

移動量を用いた魚眼カメラの歪みの補正手法を提案、構築した。また、実機実験により、本手法により魚眼画像が補正可能であることを示した。

提案手法では、中心推定手法は Ocamcalib[1]によるものを用いている。今後は、2 画像間の特徴点移動量を用いた画像中心座標の推定手法を構築する必要がある。また、精度の向上を目指し、補正值曲線作成時の、適切な外れ値除去手法の導入が必要である。また、195°以上の画角に適用可能かの検証をする必要がある。

参考文献

- [1] D. Scaramuzza, A. Martinelli, R. Siegwart, “A Toolbox for Easily Calibrating Omnidirectional Cameras”, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.5695-5701, 2006.
- [2] J. Kannala, S. S. Brandt, “A Generic Camera Model and Calibration Method for Conventional, Wide-angle, and Fisheye Lenses”, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 28, No. 8, pp.1335-1340, 2006.
- [3] A. Hishigi, Y. Tanaka, G. Masuyama, K. Umeda, “Fisheye Camera’s Intrinsic Parameter Estimation Using Trajectories of Feature Points Obtained from Camera Rotation”, Proc. of 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration 2017, pp.529-534, 2017.