

等角度マーカによる魚眼レンズ校正法

福井 皐河[†]
愛知工業大学[†]

矢野 良和[‡]
愛知工業大学[‡]

1 背景・目的

等距離投影モデルの魚眼レンズは、レンズの光軸中心から同心円状に同一角度からの入射光が投影されるため、VRに用いられる正距円筒図法画像への展開に適する。一方で、多くの安価な魚眼レンズは、理想的な等距離投影方式に対してレンズ歪みに起因する投影誤差が生まれる。

魚眼レンズの歪み推定については、様々な手法が研究されている。Kannalaら[1]は一枚の大型なマーカパターンを撮影することでレンズ歪みを推定している。しかし、これらの多くの魚眼レンズの校正手法はピンホールカメラへの補正を行っており、等距離投影モデルの魚眼レンズの投影誤差を補正するものではない。また、田中ら[2]はカメラを回転させることで得られる特徴点の軌跡情報からレンズ歪みを推定しているが、これらの手法はシステムとして非常に大きくなる。そこで我々は、等角度マーカを用いた小型のシステムでレンズ歪みを簡便に推定・校正する方法を提案している[3]。本稿では、提案手法における歪み推定関数の評価及び精度向上について述べる。

2 レンズパラメータ推定手法

本手法では、レンズ中心からの同心円上では同じ歪み量と仮定し、単一半径上での歪み量の計測を行う。図1aのような等角度マーカパターンを撮影する。等角度マーカパターンは、図2に示すとおり、カメラの視野角0から90度の等角度(b 度)ごとの位置にマーカ点が配置されるように間隔を調整して作成している。撮影時は、図1a中の点Aが撮影画像の光軸中心と一致し、かつ点Bが図2にて撮像視野の周辺位置になるように調整する。レンズが理想的な等距離投影方式であれば、撮影画像においてマーカ点が等間隔に投影される。実際の撮影画像における等間隔に対する誤差量を計測し、得られた離散的な角度間隔での誤差量から、多項式近似により任意角での誤差量を求める。この誤差量を補正し、再投影することで歪み補正を実現する。このように幾何拘束を設けることで、歪み量の計測・推定計算を簡易化している。

等角度マーカは分割数を増やすことでより多くの対応関係が得られる。一方で視野周辺では形状が大きく歪むため、細いマーカでは十分な位置推定が困難になる。そこで、図1bのように等角度分割の開始位置をバイアス

b 度としたマーカを用意する。例えば、 $b = 1$, $d = 30$ のとき、続く点は31度、61度の角度を示す。異なるバイアスの等角度マーカを撮影することで、擬似的に分割数を増やす。これを、推定した誤差量に対する真値とする。

3 実験および補正関数の検証

等角度マーカの撮影によるレンズ歪みの計測、補正を行い、提案手法の有用性を検証する。画角180度の魚眼カメラとしてGS-A15WDCM-1.5MMを用いた。

90度区間を9等分した等角度マーカを撮影した画像を図3aに示す。撮影画像の解像度は 1280×720 [pixel]である。撮像範囲の外周部を円形状として、その円の中心を光軸中心として推定した。光軸中心を原点とした X 軸上の半径部分を拡大し、検出したマーカ点を赤点で、理想的な投影位置を赤線で描画した画像を図3dに示す。本来、等角度間隔となるべきマーカの間隔が異なっている。また、90度地点よりも外側が撮像されており、実際には180度以上の画角を持っていることがわかる。

図4上の点は観測された10度間隔の各交点における角度および角度誤差量を示している。これらの各交点から3次多項式近似により任意角での誤差量を求めた結果を図4の実線で示す。横軸が理想的な入射角度、縦軸が観測された入射角度であり、これらの対応関係を示している。歪みによる各角度での誤差量を図5の太線で示す。

図4にて推定された歪み補正関数を用いて、図3aを補正したものを図3cに示す。図3dと同様に図3cを拡大・描画した画像を図3eに示す。図3dと比較すると各マー

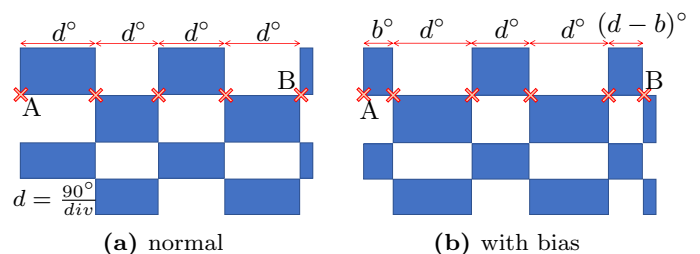


図1: Equiangular marker patterns

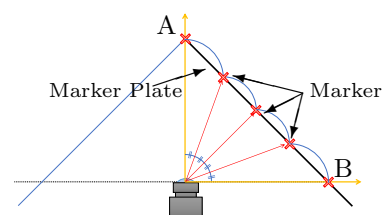


図2: Position of camera and marker points

Fisheye Lens Calibration Method Using Equiangular Markers

[†] Koga Fukui, Aichi Institute of Technology

[‡] Yoshikazu Yano, Aichi Institute of Technology

カーが等間隔に配置され、90度地点が撮像範囲の外周部に当たる位置に投影されている。図5の細線は補正後の残差を示す。最大誤差が0.5度まで補正ができたが、入力画像の解像度とレンズの画角を考慮すると、その精度は十分ではない。この誤差は関数近似によると考えられるため、多項式関数による近似精度について検証する。

推定した補正関数の評価のため、異なるバイアスの等角度マーカーを撮影し、より多くの対応関係を得る。図3bはバイアス3度の等角度マーカーを撮影した画像である。バイアスは、マーカーの形状歪みが少ない3~7度とした。図4上の連続点が、追加で計測したデータである。マーカー撮影は手作業により行うため、互いに計測誤差を含む。そのため、図4において隣り合うバイアスデータで不連続性を示しているが、これらは関数近似により平滑化されるため、特に問題とはならない。

図6は、10度間隔の交点から推定した3次多項式の近似曲線と全計測データとの誤差を示している。最大誤差は0.7度であり、入力画像の解像度から考えると大きな誤差といえる。そこで、より高次の5次多項式近似により任意角での誤差量を求めた。その結果を図4の破線で示す。5次多項式の近似曲線と全計測データとの誤差を図6の破線で示す。5次多項式により最大誤差が0.3度に減少し、これは前述の計測誤差とみなせる。よって推定誤差が十分に小さくなっているといえる。

4 まとめ

本稿では、等角度マーカーの撮影により魚眼レンズの歪みを推定・校正する手法について、歪みの推定関数の評価

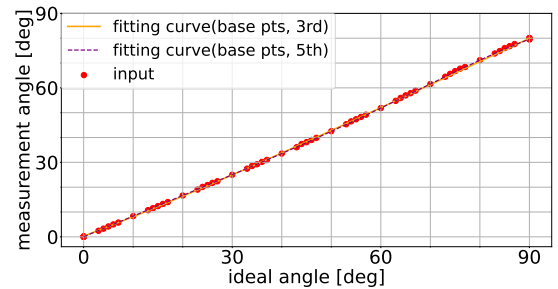


図4: Estimated correction curve

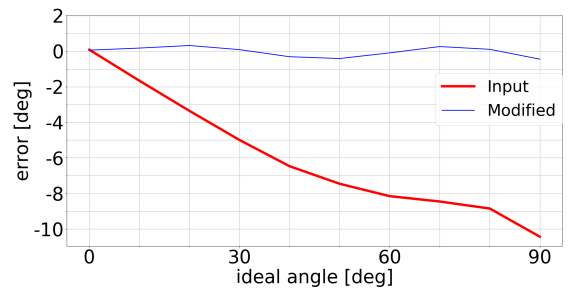


図5: Residual after applying correction curve

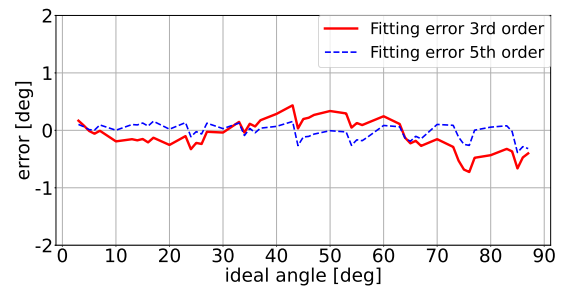
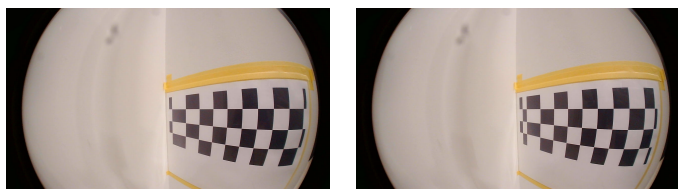


図6: Error between correction curve and measured value



(a) Input image(without bias) (b) Input image(with bias 3°)



(c) Modified image(no bias)



(d) Enlarged view on input image



(e) Enlarged view on modified image

図3: Fisheye Cam images

を行った。その結果、推定関数の高次化により十分な推定精度を得られたため、手法の有用性が確認できた。今後は、マーカーを液晶ディスプレイで表示し計測することで、計測時の拘束条件を減らすことを目指す。

参考文献

- [1] J. Kannala, S. S. Brandt: "A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, (2006).
- [2] 田中 祐輝, 増山 岳人, 梅田 和昇: "カメラを回転させた時の特徴点軌跡を用いた魚眼カメラの内部パラメータ推定手法の構築", 第21回画像センシングシンポジウム, (2015).
- [3] Yoshikazu Yano, Koga Fukui: "Validation of Calibration Method for Fish-eye Lens using Equiangular Markers Aiming for Remote Car Driving", IEEE GCCE 2021, (2021).