

視差オフセットマップによる 魚眼ステレオカメラの高精度化

Improvement on accuracy of fisheye stereo camera by disparity offset map

精密工学専攻 54号 山野 史登
Fumito Yamano

1. 序論

近年、クルマの運転支援のためのカメラや距離センサなどが多く使用されている。本論文では、魚眼ステレオカメラに着目する。魚眼カメラは180度前後の広い視野角を持ちFig.1のような画像が得られる。魚眼カメラを二つ用いた魚眼ステレオカメラを構築することによって広範囲で密な距離計測が可能となる。魚眼ステレオカメラの従来研究としては以下のような研究がある。Abrahamら⁽¹⁾は、魚眼ステレオカメラにステレオ平行化を適用することによってステレオマッチングを単純化した。しかし、密な環境復元や計測ができていない。Moreauら⁽²⁾は、等立体角投影モデルの魚眼ステレオカメラを用いた環境復元を達成した。しかしながら、この方法は大きな計算コストを必要とする。Haneら⁽³⁾は、plane-sweeping法を用いてリアルタイムの3次元計測を実現した。また、UAV⁽⁴⁾や車両⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾などの実用的なプラットフォームに魚眼ステレオカメラを適用した例も存在する。これらの研究では、魚眼画像は通常、対応点探索を単純化するために透視投影画像に変換される。しかし、変換の際に画像の周辺領域が大きく引き伸ばされるため、周辺領域でステレオマッチングを行うことが困難となり、元の魚眼画像の画角と比較して検出範囲が狭くなってしまふ。そこで大橋ら⁽⁸⁾はこれらの問題を解決するため、魚眼画像を方位角と仰角を横軸と縦軸においた直交座標系の画像に変換した正距円筒画像を用いた魚眼ステレオカメラを提案している。正距円筒画像により魚眼画像の歪みの低減、対応点探索の単純化を行うことができる。しかしながら、透視投影画像に比べると歪みが大きいことや、外部パラメータの誤差などから、距離計測精度が十分でないという課題がある。本論文では、既知の距離にあるターゲットの視差から画像の補正をする視差オフセットマップを用いることで高精度化を行う。提案手法の有効性を実験で示す。

2. 魚眼ステレオカメラの概要

2.1 魚眼カメラモデル

魚眼レンズの射影方式には、等距離射影や立体角射影、等立体角射影などがある。しかし、実際の魚眼カメラは理想的な射影方式に厳密には従わない。そこで本論文では、Scaramuzzaら⁽⁹⁾が提案しているカメラモデルを用いて内部パラメータを算出し、カメラの個体差による影響を補正する。

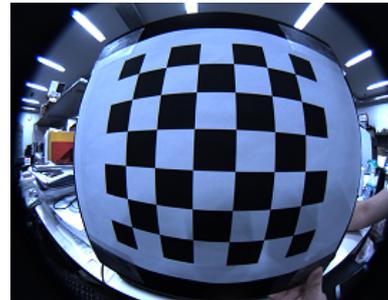


Fig.1 魚眼画像

2.2 正距円筒画像

Fig.2(a)に示す通り、魚眼画像の歪みを透視投影画像に変換することで除くと画像周辺部が大きく引き伸ばされてしまう。引き伸ばされた部分は画質が悪くなり、ステレオマッチングにより対応点を求めることが困難になる。そのため、引き伸ばしを抑えつつ、歪みを低減させることでステレオマッチングを単純化させる投影法として、本論文ではFig.2(b)の正距円筒画像を用いる。正距円筒画像は横軸と縦軸を方位角 λ と仰角 ϕ にとった等間隔な座標に投影するため、魚眼画像に対して無理なく変換でき、引き伸ばしや歪みの少ない画像を作成することができる。具体的な正距円筒画像の生成プロセスは次の通りである。

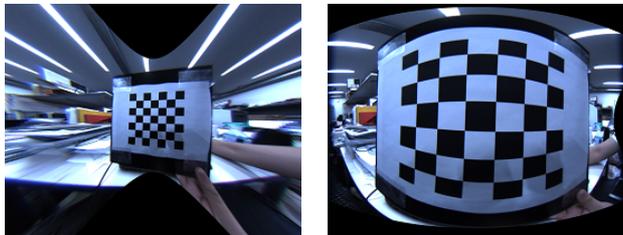
- 1) Fig.3(a)に示す正距円筒画像の注目画素位置 p' をFig.3(b)の円筒モデル上の点 q' に投影する。
- 2) 円筒モデル上に投影した点 q' をFig.3(c)の極座標上の点 q に変換する。
- 3) 極座標上に変換した点 q にカメラの内部パラメータを用いることによりFig.3(d)の魚眼画像上の点 p に変換する。
- 4) 正距円筒画像の点 p' の画素値を魚眼画像上の点 p の画素値から求める。

3. 視差オフセットマップ

3.1 距離が既知の特徴点に対する視差誤差

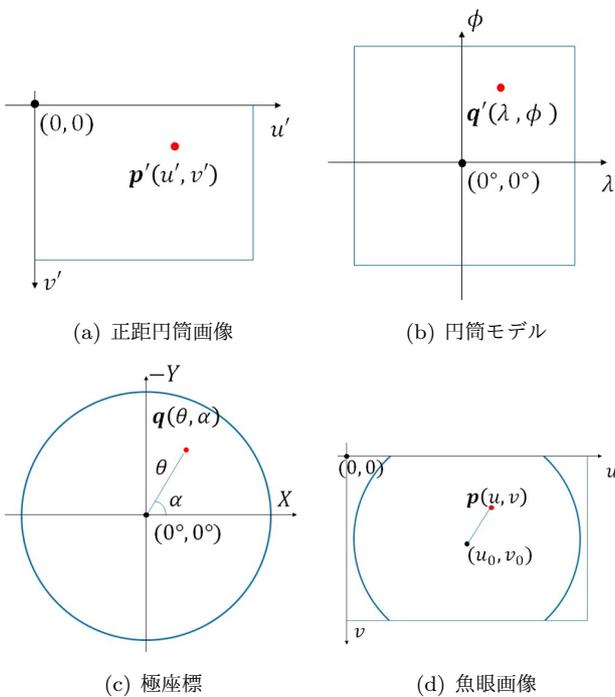
既知の距離にある対象を撮像した正距円筒画像から特徴点を抽出し、それぞれの点の視差の誤差を求める。視差は横方向 x 、縦方向 y 、それぞれに対して求める。対象物は既知の距離にある遠方のものとする。Fig.4の赤い矩

形で囲まれた建物がその一例である。特徴点の抽出とマッチングには AKAZE⁽¹⁰⁾ を用いる。なお、画像全体に遠方の対象を撮像することは困難であるため、カメラの向きを変えることによって遠方の対象を画像中の様々な位置で撮像し特徴点を抽出することによって、画像全体に対して特徴点が得られるようにする。また、左右画像の特徴点のユークリッド距離が大きい点ははずれ値として除去する。



(a) 透視投影画像 (b) 正距円筒画像

Fig.2 補正画像



(a) 正距円筒画像 (b) 円筒モデル (c) 極座標 (d) 魚眼画像

Fig.3 正距円筒画像生成プロセス



Fig.4 正距円筒画像上の距離が既知のターゲット

3.2 視差オフセットマップ

特徴点の視差誤差から全画素に対する視差誤差を求めたマップを作成する。これを視差オフセットマップと呼ぶ。各画素の視差誤差は、その画素の周囲にある特徴点を用い、画素と点の距離 d_k に応じて重み w_k を付与した重み付き平均により算出する。特徴点 (u_k, v_k) の視差誤差 e_{uk}, e_{vk} から画素 (i, j) の視差誤差 e_i, e_j を次式で求める。

$$e_i = \frac{\sum_{k=1}^n w_k \cdot e_{uk}}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (1)$$

$$e_j = \frac{\sum_{k=1}^n w_k \cdot e_{vk}}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (2)$$

$$w_k = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{d_k^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3)$$

$$d_k = \sqrt{(u_k - i)^2 + (v_k - j)^2} \quad (4)$$

式 (3) は 2 次元ガウス分布に従っており、 σ は標準偏差を表す。画素の視差誤差を求める周囲の特徴点は画素からしきい値以下の距離の点に制限する。 n はこの時の特徴点の点数である。周囲の点がしきい値以内に存在しなかった場合はその画素の視差誤差は不定とする。

3.3 視差オフセットマップによる画像補正

視差オフセットマップの画素の視差誤差をもとに画像を補正する。本論文では左画像に補正を行う。画素 (i, j) から視差誤差を補正した画素 (n, m) は式 (5)(6) で表すことができる。

$$n = i - e_i \quad (5)$$

$$m = j - e_j \quad (6)$$

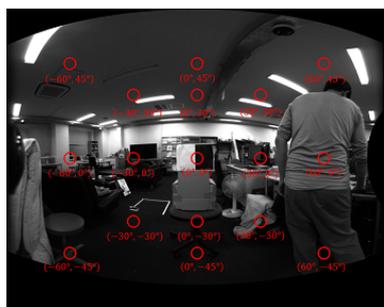
4. 距離計測精度の評価実験

4.1 実験条件

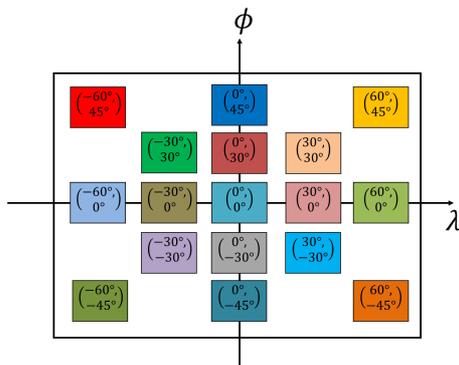
提案手法の距離計測精度の評価実験を行った。カメラは Point Grey Research 社の Flea3、魚眼レンズは SPACE 社の TV1634M を用いた。魚眼レンズの内部パラメータは Matlab の OcamCalib Toolbox⁽⁹⁾ を利用して推定した。カメラの解像度は 1328×1048 [pixel]、基線長は 52[mm]、画角は水平方向 165° 、垂直方向 132° である。プレートサイズは 7×7 、視差探索範囲は 48[pixel] とした。実験環境と計測箇所を色別で表記した図を Fig.5 に示す。計測距離は 1[m]、5[m] とし計測対象は白黒の紙の境とした。距離計測結果は注目点と上下の 2 点ずつ計 5 点の計測値を 1 回の計測とし、5 回計測を行って計 25 点の平均と標準偏差を求めた。Fig.4 の赤い矩形で囲まれた距離約 300[m] の建物を対象に特徴点を抽出し、ユークリッド距離 10[pixel] 以下の点を使用した。撮像枚数は 230 枚、点数は 23239 点であった。視差オフセットマップ作成の際のしきい値は 50[pixel]、 $\sigma = 25$ [pixel] とした。

4.2 実験結果

Fig.6 に特徴点の視差誤差を、Fig.7 に Fig.6 から得られたオフセットマップを示す。マップ補正なしとありの距離画



(a) 実験環境



(b) 計測箇所

Fig.5 実験環境と計測箇所

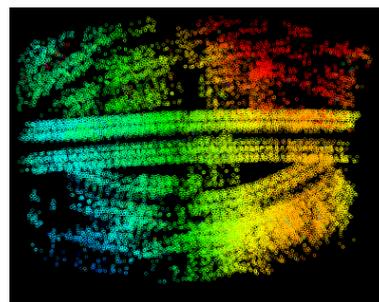
像を Fig.8 に、計測距離の誤差と標準偏差を Fig.9, 10 に示す。Fig.6, 7 は青色から赤色が視差の誤差 $-5.0 \sim 5.0$ [pixel] に対応する。ただし -5.0 [pixel] 以下は青色, 5.0 [pixel] 以上は赤色, 周囲に点がなく視差誤差が求まらない箇所は黒色とした。Fig.8 は赤色から青色がカメラまでの距離 0.0 [m] \sim 10.0 [m] に対応し 10.0 [m] 以上は青色とした。Fig.9, 10 の棒グラフの色は Fig.5(b) の計測箇所に対応している。

Fig.7 のマップは Fig.6 の視差誤差に対応した色となった。マップに円弧状のような模様があるのは Fig.6 の特徴点が疎な部分など画素の視差誤差を求めるのに用いた特徴点が少ないためと考えている。Fig.8 の距離画像は Fig.7 のマップにより補正され, 遠距離にある対象物の距離値が改善されている。Fig.9, 10 より, 補正を行うことにより誤差が小さくなっていることが分かる。距離 1 [m] では最大約 0.16 [m], 5 [m] では最大約 1.0 [m] まで誤差が小さくなった。 1 [m] より 5 [m] の結果のほうが誤差の改善の程度が大きいのは, 遠方の対象に対してオフセットマップを求めているためであると考えている。また, 補正ありで誤差が大きい箇所は, Fig.6 において特徴点が疎な箇所や特徴点の視差誤差に偏りが大きい箇所だと考えている。

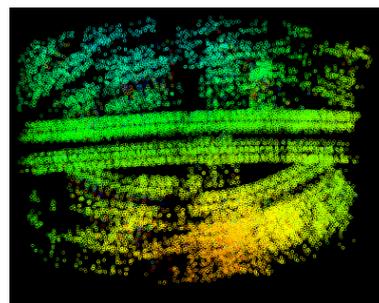
5. 結論

本論文では, 視差オフセットマップを用いた画像補正を行うことにより, 正距円筒画像を用いた魚眼ステレオカメラの距離精度を向上できることを示した。 今後は, 視差誤差に用いる特徴点の選定方法の改善と近距離のターゲットに変更しての視差オフセットマップでの検証を行

い更なる精度向上を目指す。

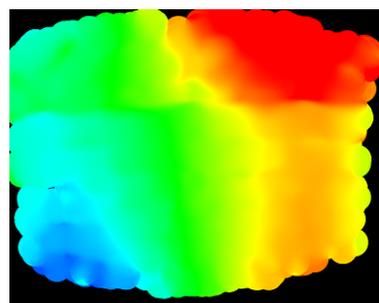


(a) x 方向

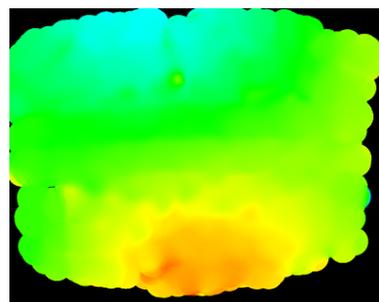


(b) y 方向

Fig.6 特徴点の視差誤差

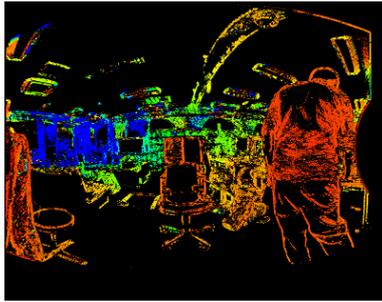


(a) x 方向

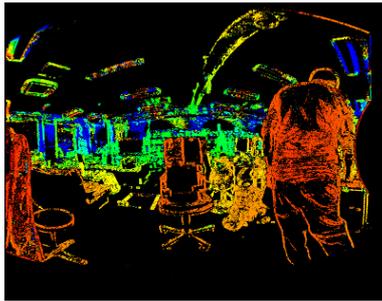


(b) y 方向

Fig.7 視差オフセットマップ

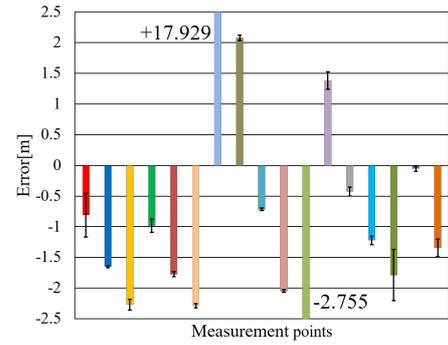


(a) 補正なし

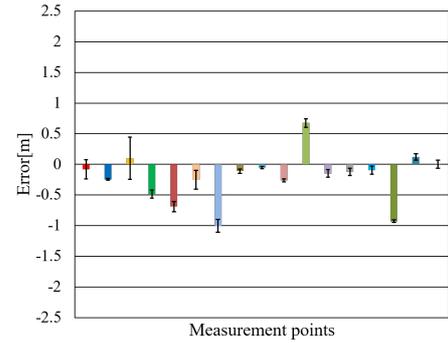


(b) 補正あり

Fig.8 距離画像

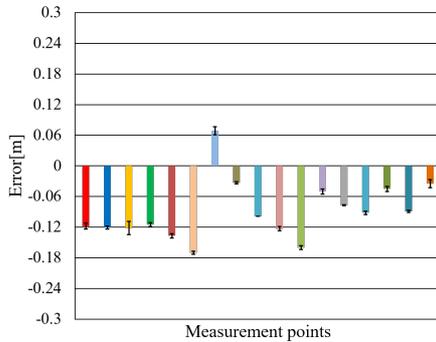


(a) 補正なし

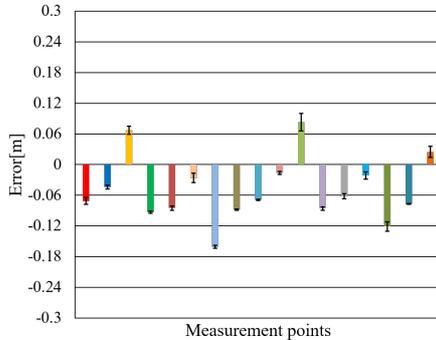


(b) 補正あり

Fig.10 5[m] の距離計測誤差と標準偏差



(a) 補正なし



(b) 補正あり

Fig.9 1[m] の距離計測誤差と標準偏差

参考文献

- (1) S. Abraham et al., "Fish-eye stereo calibration and epipolar rectification", Journal of ISPRS2005, 59-5, pp.278-288, 2005.
- (2) J. Moreau et al., "Equisolid fisheye stereovision calibration and point cloud computation", Proc. of ISPRS2013, XL-7/W2, pp.167-172, 2013.
- (3) C. Hane et al., "Real-time direct dense matching on fisheye images using plane-sweeping stereo", Proc. of 3DV2014, 1, pp.57-64, 2014.
- (4) N. Krombach et al., "Evaluation of stereo algorithms for obstacle detection with fisheye lenses", Proc. of ISPRS2015, II-1/W1, pp. 33-40, 2015.
- (5) P. Furgale et al., "Toward automated driving in cities using close-to-market sensors: An overview of the V-Charge Project", Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) 2013, 2013.
- (6) S. K. Gehrig, "Large-field-of-view stereo for automotive applications", Proc. of OmniVis2005, 1, 2005.
- (7) D. Kim et al., "Rear obstacle detection system with fisheye stereo camera using HCT", Journal of Expert Systems With Applications2015, 42-17, pp. 6295-6305, 2015.
- (8) 大橋 明, 山野 史登, 増山 岳人, 梅田 和昇, 福田 大輔, 入江 耕太, 金子 修造, 村山 純哉, 内田 吉孝, "正距円筒画像への変換を用いた魚眼ステレオカメラの構築", 精密工学会誌, Vol.83, No.12, pp.1095-1100, 2017.
- (9) D. Scaramuzza, et al., "A Toolbox for Easy Calibrating Omnidirectional Cameras", Proc. of IROS2006, pp.5695-5701, 2006.
- (10) P. F. Alcantarilla, et al., "Fast Explicit Diffusion for Accelerated Features in Nonlinear Scale Spaces", Proc. of BMVC2013, 2013.