

魚眼ステレオカメラの 複数ステレオ画像対を用いた距離画像計測

飯田浩貴† 山野史登† 梅田和昇†
大橋明‡ 福田大輔‡ 金子修造‡ 村山純哉‡ 内田吉孝‡
†中央大学 ‡クラリオン（株）
E-mail: iida@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

Abstract

本研究では、魚眼ステレオカメラを動かしながら撮影した複数ステレオ画像対を用いた距離画像計測手法を提案している。距離画像計測を行うには画像間で対応する点を探す必要がある。その際、一般的な二眼ステレオ計測の場合はテンプレートマッチングがよく用いられるが、時系列画像間の場合は画像の見え方が大きく異なる可能性があるため、テンプレートマッチングを適用することは困難であると考えられる。そこで、本研究では特徴ベースのマッチングを行い、特徴点の3次元復元を行う。得られた復元結果で画素値を補間することで距離画像計測を実現する。このとき、画素値を特徴点で補間するには画像全体で特徴点を取得する必要があるため、2フレームのステレオ画像の合計4枚の画像の1枚を基準とした3種類のマッチングを行うことで特徴点を増やす。最後に、屋外環境での実験により、提案手法の有効性を検証する。

1 序論

近年、自動車の運転支援システムのためのカメラや距離センサの研究開発が活発になっている。しかし、距離計測の範囲の狭さや密度の低さにより検知不可能な対象・範囲が存在していることが問題となっている。これに対し、本研究では魚眼ステレオカメラに着目している。魚眼カメラの画角は180度以上であり、そのサイズも比較的小さいことから車載に適していると考えられる。また、ステレオカメラはカメラを二つ用いることにより密な距離画像計測を可能とする。よって、魚眼カメラを二つ用いて魚眼ステレオカメラを構築することによって広角かつ密な距離画像計測が可能となる。大橋ら[1]は正距円筒画像への変換を用いた魚眼ステレオカメラを提案している。魚眼画像を方位角 λ と仰角 ϕ を横軸と縦軸においた直交座標系の画像である正距円筒画像に変換することで魚眼画像の歪みの低減、対応点探索の簡単化を実現している。しかし、魚眼画像

の非等方な歪みによる誤差、外部パラメータの誤差などの影響により距離画像計測精度に課題を残している。そこで、本研究では時系列画像を用いた処理を導入することで距離画像計測精度の向上を目指す。

2 特徴点の3次元復元

2.1 特徴量抽出

本研究ではAKAZE[2]アルゴリズムによって特徴点を検出する。AKAZEは画像のぼけ、回転、スケール、輝度の変化に頑健な特徴量の抽出が可能であり、移動するカメラから撮影した画像に対して有効である。また、AKAZEは矩形のウィンドウ上で特徴検出器の極値を探索するため、魚眼画像と比較して画像中の位置による画像変形が少ない正距円筒画像を用いることが適していると考えられる。

2.2 3種類のマッチング

2枚の画像間で特徴点をマッチングして対応点を得る際、3.2節で述べる手法のために画像全体で特徴点を得る必要がある。そこで、Fig.1に示すように2フレームのステレオ画像の合計4枚の画像の時刻 t における右正距円筒画像を基準とした3種類のマッチングを行うことで対応点数を増やす。

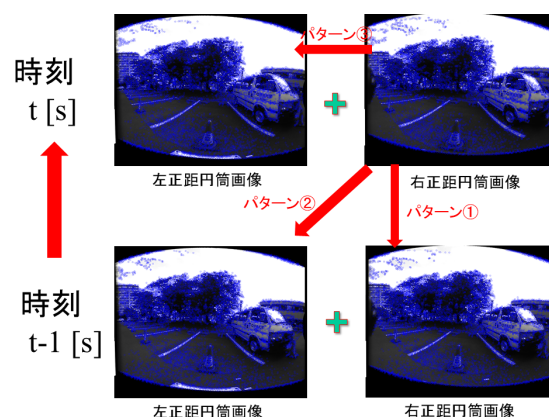


Fig. 1 ステレオ画像対の3種類のマッチング

2.3 運動パラメータ

2 画像間でのカメラの運動パラメータは、回転行列 R と並進ベクトル t で表される。これらのパラメータは、Structure from Motion を用いて求める。具体的には、2.2 節で得られた対応点群から基本行列 E を計算し、 E を特異値分解することで求める。このとき、フレーム間の移動距離と左右カメラ間の基線長を既知とすることでスケール不定性を解消する。なお、2.1 節で得られる特徴点は正距円筒座標 (λ, ϕ) であるため、

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tan \lambda \\ \frac{\tan \phi}{\cos \lambda} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

により透視投影座標 (x, y, z) へ変換してから基本行列 E の計算を行う。

2.4 3次元復元

特徴点の画像座標 (u, v) と3次元座標 (X, Y, Z) の関係はカメラの外部パラメータで構成される透視投影行列 P を用いて次式で表せる。

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \sim P \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

このときの $\sim$ は同次座標として等しいことを表す。上式にマッチングで得られた対応点組を代入すると、

$$\begin{bmatrix} p_{31}u - p_{11} & p_{32}u - p_{12} & p_{33}u - p_{13} \\ p_{31}u - p_{21} & p_{32}u - p_{22} & p_{33}u - p_{23} \\ p'_{31}u' - p'_{11} & p'_{32}u' - p'_{12} & p'_{33}u' - p'_{13} \\ p'_{31}u' - p'_{21} & p'_{32}u' - p'_{22} & p'_{33}u' - p'_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{14} - p_{34}u \\ p_{24} - p_{34}v \\ p'_{14} - p'_{34}u' \\ p'_{24} - p'_{34}v' \end{bmatrix} \quad (3)$$

上式の左辺の 4×3 行列を B 、右辺の4次元ベクトルを $\mathbf{b}$ とすると、

$$B\mathbf{X} = \mathbf{b} \quad (4)$$

として表せるので、

$$\hat{\mathbf{X}} = B^+ \mathbf{b} \quad (5)$$

により最小二乗解が求まる。

3 距離画像作成

3.1 エッジの抽出と膨張

次節で画素値の補間をするにあたって、従来手法と比較し易くするために注目画素をエッジ画素に限定する。Fig.1 で示す中で基準画像で時刻 t における右正距円筒画像から Canny オペレータ [3] でエッジを抽出する。また、そのエッジ画素の24近傍に対して膨張処理を行う。エッジを抽出した結果、膨張処理した結果を各々 Fig.2 と Fig.3 に示す。



Fig. 2 エッジ画像



Fig. 3 Fig.2 を膨張処理した画像

3.2 画素値の補間

注目画素に対するカメラからの距離値を求めた距離画像を特徴点の3次元復元結果の補間により作成する。このとき、前処理として2.4節で得られた特徴点の復元結果を次式によりカメラからの距離値 e_{dist} に変換する。

$$e_{dist} = \frac{Z}{\cos \phi \cos \lambda} \quad (6)$$

このときの Z は光軸方向の距離である。画像のエッジ画素の距離値を、その画素の周囲にある特徴点を用い、画素と特徴点との距離 d_k に応じて重み w_k を与えた重み付き平均により算出する。特徴点 (u_k, v_k) の距離値

e_{distk} からエッジ画素 (i, j) の距離値 D を次式で求める [4].

$$D = \frac{\sum_{k=1}^n w_k \cdot e_{distk}}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (7)$$

$$w_k = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{d_k^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (8)$$

$$d_k = \sqrt{(u_k - i)^2 + (v_k - j)^2} \quad (9)$$

式 (8) で与えられる重みは 2 次元ガウス分布に従っており, σ は標準偏差を表す. エッジ画素の距離値を求める周囲の特徴点はエッジ画素から閾値以下の距離の点とする. n はこのときの特徴点の点数である.

4 実験

4.1 実験条件

提案手法を用いて, 距離画像作成実験を行った. 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[5] 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. 魚眼ステレオカメラの外観を Fig.4 に示す. ステレオ画像対はフレーム間でカメラを光軸方向に 0.3[m] 移動させたときの画像を用いた. 距離画像作成の際のしきい値は 24[pixel], $\sigma = 12$ [pixel] とした.



Fig. 4 魚眼ステレオカメラの外観

4.2 実験結果

3 種類のマッチングで得られた特徴点を Fig.5 に, 距離画像の従来手法 (二眼ステレオ) との比較結果を Fig.6 に示す. マッチングで得られた特徴点は, Fig.1 に示すパターン①で得られたものを青, パターン②で得られたものを赤, パターン③で得られたものを緑で表している. 距離画像はカメラからの距離に近いものほど赤, 遠いものほど青になるよう色付けされている. 従来手法に比べ, 提案手法では画像の左右端付近にあるパイロンや遠方の建物で距離精度が改善されていることが分かる. これは, フレーム間の移動距離がカメラの基

線長と比べ大きいことが距離精度に反映されていると考えられる.

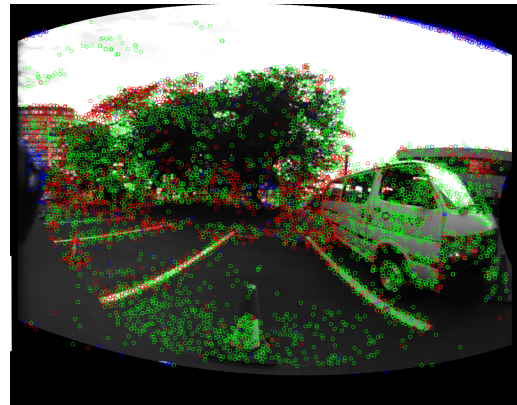
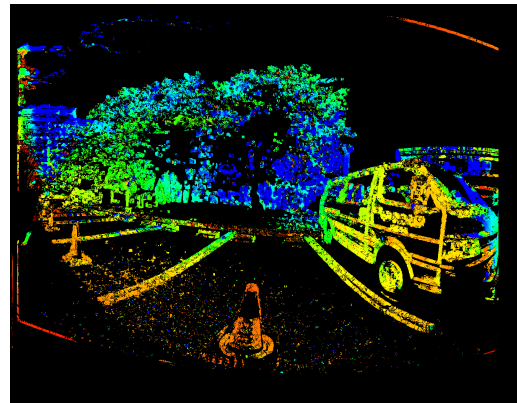
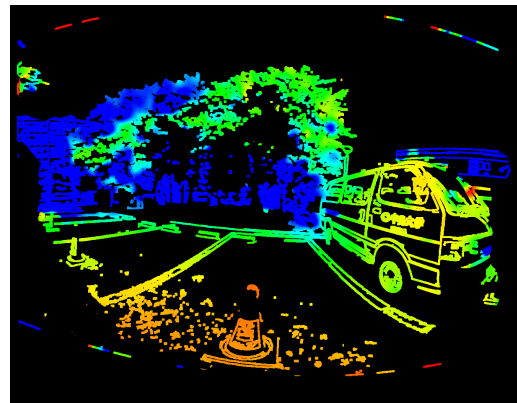


Fig. 5 3 種類のマッチングで得られた特徴点



(a) 従来手法



(b) 提案手法

Fig. 6 距離画像

5 結論と今後の展望

本論文では、魚眼ステレオカメラの複数ステレオ画像対を用いた距離画像計測手法を提案した。2フレームのステレオ画像を用いることで3種類のマッチングが可能となり特徴点を画像全体で得ることで画素値の補間に成功した。屋外環境での距離画像作成実験により、従来手法に比べ距離精度が改善されていることを示した。

今後は、距離値の重み付けによる二眼ステレオとの距離画像合成と定量的評価を目指す。

参考文献

- [1] 大橋明 他, “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.
- [2] P. F. Alcantarilla et al., “Fast Explicit Diffusion for Accelerated Features in Nonlinear Scale Spaces,” Proc. of BMVC, 2013.
- [3] J. Canny, “A computational approach to edge detection,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, No.6, pp. 679-698, 1986.
- [4] 山野史登 他, “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”, 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会論文集, D74, pp.271-272, 2018.
- [5] Davide Scaramuzza et al., “A Toolbox for Easy Calibrating Omnidirectional Cameras,” Proc. of IROS2006, pp.5695-5701, 2006.