

魚眼ステレオカメラにおける 正距円筒面画像の利用の有効性の検討

中央大学 ○大橋 明, 田中 祐輝, 増山 岳人, 梅田 和昇,
クラリオン 福田 大輔, Hitachi Automotive Systems Americas 入江 耕太,
クラリオン 緒方 健人, 成田 達郎, 内田 吉孝

Evaluation of Using Equirectangular Images for a Fish-eye Stereo Camera

Chuo Univ. Akira OHASHI, Yuki TANAKA, Gakuto MASUYAMA, Kazunori UMEDA,

Clarion Daisuke FUKUDA, Hitachi AMS Americas Kota IRIE,

Clarion Takehito OGATA, Tatsurou NARITA, Yoshitaka UCHIDA

This paper proposes equirectangular projection in a stereo camera using two fish-eye cameras. Fish-eye images are distorted greatly, and thus mismatches are expected to increase in normal stereo matching by the difference of distortion between the left and right images caused by disparities. Therefore, this paper proposes the stereo correspondence search after deforming fish-eye images into equirectangular images with small distortion. Projective transformation is applied to images so that feature points of far objects coincide in images of two cameras, in order to remove the mismatches due to the errors of intrinsic and extrinsic parameters. The distance measurement accuracy of the constructed stereo camera is evaluated by experiments.

1. 緒 言

近年, 事故発生の抑制を目的とする運転支援システムを搭載した車が増加している. 事故を防ぐためには事故の起こる危険性を事前に察知する必要があるため, 車周辺の環境情報を取得するセンサが必須である. 車に搭載するセンサは, 小型かつ低コストで広範囲の環境情報が精度良く取得可能であることが求められる. そこで本論文では, 魚眼カメラを用いたステレオカメラを構築することによって, 車周辺の環境情報の取得に適したビュー用としても使える距離計測に特化したセンサの実現を目指す. 魚眼ステレオカメラを用いた関連研究としては, 地上や水中での魚眼ステレオカメラに基づく3次元計測手法¹⁾などが提案されている. しかし, これらの研究では計測対象が画像端や数m以上先に存在する場合における距離計測が十分に議論されていないため, 車載用センサとして使えるかは不明であった. 本論文では, 魚眼ステレオカメラに正距円筒面投影を適用することで画像端におけるステレオマッチングを簡便化させ, 広範囲の3次元計測を行なう手法を提案する²⁾. この時, 提案手法に射影変換による画像の位置合わせを組み込み, 計測対象が画像の斜めの位置に存在する場合における計測精度の低下を解決する. 提案手法の有効性を実験により検討する.

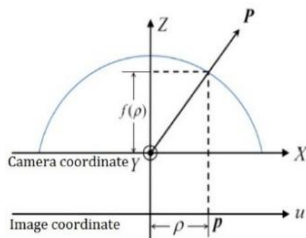


Fig.1 魚眼カメラモデル

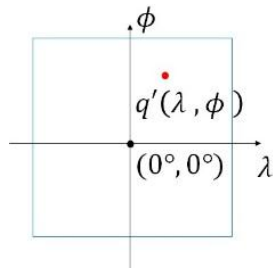


Fig.2 円筒面モデル

2. 魚眼カメラの概要

2.1 魚眼カメラモデル⁴⁾

魚眼レンズの射影方式には, 画面の中心からの距離と角度が比例

する等距離射影などがある. 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⁴⁾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. カメラモデルの概略を Fig.1 に示す.

2.2 円筒面投影モデル

魚眼画像の歪みを透視投影画像に変換することで取り去る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, 比較的引き伸ばしを抑える投影法として, 本論文では正距円筒面投影を用いる. 正距円筒面投影は魚眼画像中の方位角と仰角に対して均等に分割する投影を行うため, 魚眼画像を無理なく変形でき, かつ, 歪みの少ない画像を作成することができる. Fig.2 に示すように, 魚眼の中心からの方位角 λ と仰角 ϕ をそれぞれ, 横軸, 縦軸にとったモデルを円筒面モデルとよぶ.

3. 距離計測手法概要

3.1 ステレオカメラ校正

2.1 で述べた内部パラメータによる影響以外にも, 内部パラメータの推定誤差や左右のカメラ間の外部パラメータの差によって左右の画像の対応関係の不一致が生じる. この不一致を修正するため, 射影変換により画像の位置合わせを行う. 方法としては以下のような流れとなる.

(1) 正距円筒面画像の特徴点の抽出

十分遠方の対象を撮像した正距円筒面画像から特徴点を抽出し, それらの点が左右の画像で一致するように射影変換を行う. 特徴点の抽出及びマッチングには AKAZE⁵⁾を用いる. なお, 正距円筒面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の画像中の位置を調整して撮像し, 特徴点を抽出することによって, 正距円筒面画像全体に対して特徴点の対応が得られるようにする.

(2) 対応点の誤マッチングの除去

魚眼カメラの画角は極めて広いため, 通常は遠方の対象ではない対

応点が存在する。また、誤マッチングによる外れ値も存在すると考えられる。そこで、Fig.3に示すように計算に用いる対応点を手動で選択することで誤マッチングの除去を行う。

(3) 対応点によるパラメータの算出

無限遠点を撮影したときに、2つのカメラの画像上の位置は一致するはずである。そこで、得られた遠方の対象の対応点が一致するように射影変換を行うことによって内部パラメータの推定誤差や左右のカメラ間の外部パラメータの差による影響を打ち消す。

3.2 対応点探索

画像間の対応点探索にはテンプレートマッチングを用いる。類似度には輝度の差の絶対値和(SAD)を用いる。方位角が0°の時の仰角を ϕ_0 とすると、正距円筒面画像のエピポーラ線は式(1)で表せる。

$$\phi = \tan^{-1}(\tan \phi_0 \cos \lambda) \quad (1)$$

正距円筒面画像上でのエピポーラ線をFig.4に示す。

3.3 計測点の3次元位置

計測対象とカメラ間のユークリッド距離 D （注：光軸方向の距離ではない。以後は単に距離と表記）は、基線長を b 、焦点距離を f 、左右の画像の対応点間の視差を Δu 、撮像素子のピクセルサイズを S とすると式(2)で計算できる。

$$D = \frac{bf \cos \phi}{S \Delta u \cos \lambda} \quad (2)$$



Fig.3 マッチング範囲の限定

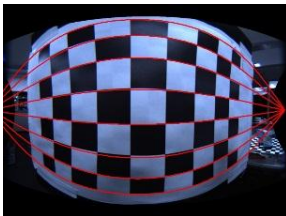


Fig.4 画像上のエピポーラ線



Fig.5 魚眼ステレオカメラの外観

4. 距離画像計測実験

4.1 実験条件

これまで述べた提案手法を用い、距離計測実験を行った。構築した魚眼ステレオカメラの外観をFig.5に示す。CCDカメラはPoint Grey Research社のFlea3、魚眼レンズはスペース社のTV1634Mを用いた。TV1634Mの内部パラメータ、及び焦点距離と画素サイズはMatlabのOcamlCalib Toolbox⁴⁾を利用して求めた。解像度は1328×1048[pixel]、基線長は49[mm]である。距離計測精度評価のために対象を置く位置を魚眼ステレオカメラの正面と左右に75[deg]、上下に60[deg]、さらに、斜め方向を加えた9点とした。実験環境と計測位置をFig.6に示す。なお、視差の計算は等角直線フィッティングによって、サブピクセル精度で行った。また、距離計測結果は注目点の周囲25点の平均計測距離を5回計測してRMS誤差を算出した。

4.2 実験結果

Fig.6は魚眼画像を円筒面に投影した画像、Fig.7は左右の円筒面画

像から作成した距離画像である。Fig.7は赤から青の色が0.5~10mに対応している。Fig.8は距離の計測誤差（RMS誤差）を距離に対する割合で表したものである。距離画像計測のフレームレートは5[fps]であった。

4.3 考察

Fig.7を見ると、実験環境を撮像した正距円筒面画像の全体にわたって距離計測できていることがわかるが、照明部分で誤マッチングを起こしている。この誤マッチングはSADのピークがあいまいな場所において起こる問題であるため、今後は該当部分の距離計測結果を除外する必要があると考えられる。また、Fig.8を見ると、全計測点の誤差が5m以内で14%以内に収まっていることが分かる。画像の位置によらず同程度の距離計測誤差であり、3)で問題であった計測対象が画像の斜めの位置に存在する場合における計測精度の低下は改善されたと考えられる。



Fig.6 実験環境

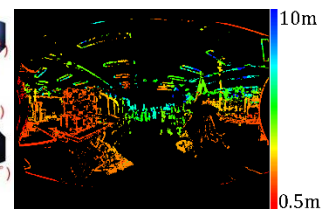


Fig.7 計測結果

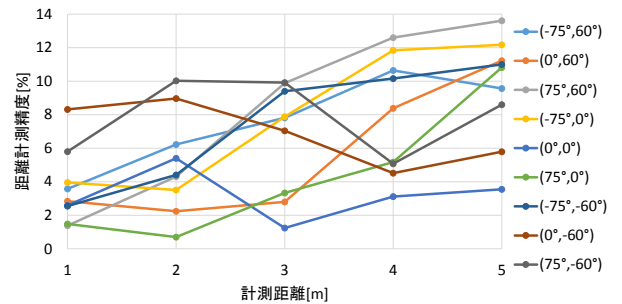


Fig.8 距離計測誤差

5. 結 言

本論文では、魚眼ステレオカメラに正距円筒面投影を適用することによる広範囲にわたる3次元計測手法に、射影変換による画像の位置合わせを組み込むことで距離計測精度を向上させた。また、対象が画像の斜めの位置に存在する場合における計測精度の低下を解決した。距離計測精度の評価実験を行い、5m以内で画像中の位置によらず誤差が14%以内に収まっていることを確認した。今後の展望としては、カメラパラメータの推定精度を向上させることによって距離計測精度の向上を目指す。また、誤マッチングが起りやすい部分を事前に検出することによって外れ値の除去を目指す。

参 考 文 献

- 1) Jun'ichi Yamaguchi, "Three Dimensional Measurement Using Fisheye Stereo Vision", Intech, 2011.
- 2) 成瀬達哉, 山下淳, 金子透, 小林祐一, "魚眼ステレオカメラを用いた水中物体の3次元計測", 精密工学会誌, Vol.79, No.4, pp.344-348, April 2013.
- 3) 大橋 明, 田中祐輝, 増山岳人, 梅田和昇, 福田大輔, 入江耕太, 緒方健人, 成田達郎, 内田吉孝, "正距円筒面画像への変換を用いた魚眼ステレオカメラの構築", ROBOMECH2015, 1A1-J09, 2015.
- 4) Davide Scaramuzza, Agostino Martinelli and Roland Siegwart, "A Toolbox for Easy Calibrating Omnidirectional Cameras", Proc. of IROS2006, pp.5695-5701, 2006.
- 5) Pablo F. Alcantarilla, Jesús Nuevo and Adrien Bartoli, "Fast Explicit Diffusion for Accelerated Features in Nonlinear Scale Spaces", BMVC, 2013.