

# 魚眼ステレオカメラを用いた路面平面と障害物高さ推定

○佐久田朝優 (中央大学) 大橋明 (クラリオン (株)) 福田大輔 (クラリオン (株))  
池勇勳 (JAIST) 梅田和昇 (中央大学)

## 1. 序論

近年、自動車の運転支援システムへの関心が急速に高まってきている。運転手の安全な運転をサポートするため自動車周辺環境の把握は欠かせないタスクであり様々な研究が行われている。LiDARを用いた手法として U-disparity 空間を利用した手法 [1] や予めセンシングした距離をテーブルとして保存する手法 [2] などがあるが、LiDAR は計測密度が低くポールのような細い障害物の検出が難しい。ステレオカメラを用いた手法として V-disparity 空間においてハフ変換を行う手法 [3] や射影変換後の参照画像と基準画像との輝度値の差から路面領域を推定する手法 [4] があるが、一般のステレオカメラは画角が狭く真横の障害物を検出することが出来ない。このような問題を解決しうるセンサとして魚眼ステレオカメラが挙げられる。魚眼ステレオカメラは、密な計測が可能であるステレオカメラに広範囲の撮影を可能とする魚眼レンズを使用したセンサである。大橋らは魚眼画像を正距円筒画像へ変換することにより魚眼特有の歪を補正した魚眼ステレオカメラを構築した [5]。また、凌らは複数視差オフセットマップの組み合わせによる魚眼ステレオカメラの高精度化を行った [6]。しかし、これらの手法では精度が不十分であり魚眼ステレオカメラを使用した運転支援システムへの応用は困難である。一方、飯田らは二眼ステレオカメラと Structure from Motion (SfM) を融合した魚眼ステレオカメラの三次元計測手法を提案している [7]。この手法では、計測範囲が広く密である二眼魚眼ステレオカメラと疎であるが誤マッチングが少なく高精度の SfM を融合することで精度の高い密で広範囲の三次元計測を可能としている。本稿では、この密で高精度である三次元計測手法を使用し運動支援システムに必要な路面平面、障害物高さの推定を行う。

## 2. 提案手法

本研究で提案する手法の概要を図 1 に示す。擬似バイラテラルフィルタ [7] を用いた魚眼ステレオカメラによる三次元計測手法を用いて環境の視差を取得し、ノイズ処理を行う。その後、高速化のため点群の削減を行い Random Sample Consensus (RANSAC) [8] により路面平面のパラメータを推定する。周辺環境が路面平面と障害物に分割出来ることを仮定し路面として推定された点以外を障害物候補点として抽出する。抽出された障害物候補点に対し再度ノイズ処理を行った後にユークリッドクラスタリング [9] を行う。クラスタリングされた障害物ごとに高さを算出する。この高さにより車が障害物を乗り越えることが可能か判断することが可能となる。

### 2.1 三次元計測手法

本研究では飯田らの提案している擬似バイラテラルフィルタを用いた魚眼ステレオカメラの三次元計測手法を用いる。この計測手法では魚眼特有の歪による影響を軽減するため図 2 のように魚眼画像に対し正距円筒画像への変換を行った後に左右画像の対応点探索を行っている。ステレオカメラは実空間において距離の不確かさが距離の 2 乗に比例して変化するため、以降の処理は正距円筒画像の視差空間において行う。

### 2.2 ノイズ処理

ステレオカメラで得られる点群には誤マッチングによるはずれ値が多く含まれる。そこで本研究では、はずれ値除去のために周辺密度が低い点の除去を行う。注目点の一定の半径以内において近傍点を探索し、近傍点が  $n$  点以下の場合注目点を除去する。また、密度の高い点群に処理を行っており計算コストが高いため点群の間引きを行う。正距円筒画像を正方形に分割し中央値を代表値とする。

### 2.3 RANSAC による路面平面パラメータ推定

本研究では路面を平面で表すことが出来ると仮定して路面平面のパラメータ推定を行う。路面平面は、正距円筒画像における視差空間では以下の式で表される。

$$\Delta\lambda = a \cos \phi \sin \lambda + b \tan \phi \cos \lambda + c \cos^2 \lambda \quad (1)$$

ただし、 $(a, b, c)$  は平面のパラメータ、 $(\lambda, \phi)$  は正距円筒画像上の座標、 $\Delta\lambda$  は正距円筒画像上での視差である。また、概略図を図 3 に示す。青い線が推定された平面であり、しきい値距離内を点線で表している。また、正距円筒画像の視差空間は非線形であるので曲がっている。黄色い点は障害物である。赤い点は誤マッチングによって生じるはずれ値である。

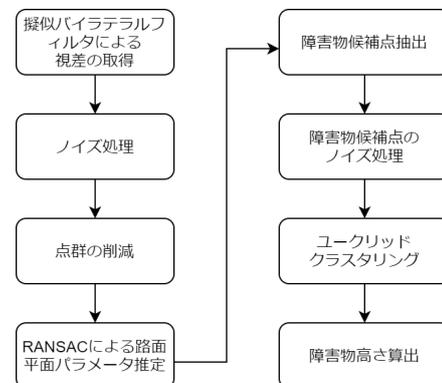


図 1 提案手法概要

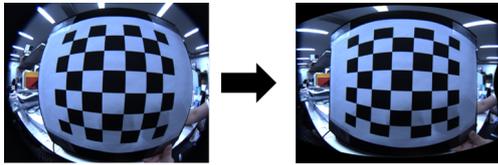


図2 正距円筒画像へ変換

## 2.4 クラスタリングによる障害物識別と高さ推定

RANSACによる路面平面パラメータ推定の後、推定された平面領域を除いた点群に対してノイズ処理を行い、得られた点群を障害物候補点とする。この障害物候補点に対してユークリッドクラスタリングを行うことにより障害物を識別する。ユークリッドクラスタリングは以下の手順において行われる。

- Step1) 点群からランダムに一つ点を注目点集合  $Q$  に追加する
- Step2) 注目点集合  $Q$  の要素である点すべてから距離が探索半径内の点を  $Q$  に追加する
- Step3)  $Q$  の要素がすでにクラスに登録済みでなければ  $Q$  を1つのクラスとする
- Step4)  $Q$  を空にする
- Step5) Step1~4 を視差空間のすべての点に対して行う

ただし、点数がしきい値以下のクラスはノイズとみなす。このようにして得られた各障害物に対して推定された平面からの高さを算出する。障害物の高さ  $H$  は

$$H = \frac{|aX + bZ + cY - l_{base}|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (2)$$

により算出する。ただし、 $(X, Y, Z)$  は実空間での座標、 $l_{base}$  は魚眼ステレオカメラの基線長である。識別された各障害物に対して平面から最も遠い点を選択し、その平面と障害物との距離を障害物高さとする。

## 3. 実験

### 3.1 実験条件

本実験では高さ 0.5 m の段ボールを障害物とし、障害物が識別できるか、路面平面のパラメータが正しく推定できるかを検証した。評価項目は、障害物の高さ、

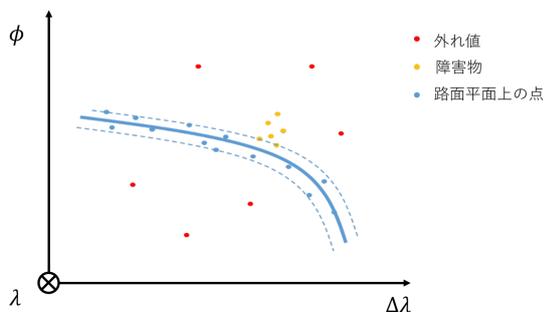


図3 視差空間における路面平面の概略図



図4 高さ 0.5 m の段ボール箱



図5 高さ 0.1 m の発泡スチロール

平面に対するカメラ高さ、カメラのロール角、ピッチ角とする。図4にある段ボール箱を方位角  $-75^\circ \sim 75^\circ$  の計7か所、1 m, 2 m, 3 m の3つの距離で計21か所においてそれぞれ25回計測を行った。魚眼ステレオカメラは高さ1 mの位置にピッチ角を下向き  $30^\circ$  として設置した。ただし、ロール角は  $0^\circ$  とし計測範囲は10 m以内とした。RANSACの閾値は  $1.85 \times 10^{-3}$  rad, 繰り返し回数  $N$  は200回とした。また、ユークリッドクラスタリングのしきい値は40点、探索半径は0.2 mとした。ノイズ処理では半径0.03 rad以内に22点以内の点を除去し、10 pixelごとに中央値を代表値とし点を間引いている。

また、より低い障害物が検出可能かを評価するため図5に示す高さ0.1 mの発泡スチロールを障害物とし同様の評価項目において実験を行った。ただし、ピッチ角が  $30^\circ$  であると発泡スチロールが画像に写らず計測が出来なかったためピッチ角  $40^\circ$  とした。方位角  $-25^\circ, 0^\circ, 25^\circ$  の3か所を対象までの距離1 mにおいてそれぞれ25回計測を行った。

### 3.2 実験結果

図6, 7に0.5 mの段ボールを撮影した環境の画像、視差画像を示す。図8はクラスタリング結果を示した図であり、色ごとに識別された障害物が表示されている。緑色の点群が対象であり、赤い点群が後ろに写っているフェンスである。それ以外の箇所は誤認識である。また、図9~11にそれぞれの評価項目の誤差を示す。結果としては、平面推定、障害物高さ推定ともにバイアスが残る結果となったが方位角  $-75^\circ \sim 75^\circ$  において対象の障害物を正しく識別することが可能であった。平面の評価値であるカメラのロール角、ピッチ角において誤差の平均は最大で  $3^\circ$  でありバイアスは負の方向に残っていた。また、カメラ高さと障害物の高さには正のバイアスがあることから擬似バイラテラルフィルタの手法においてのスケール合わせ [7] の誤差である可能性が考えられる。



図 6 正距円筒画像

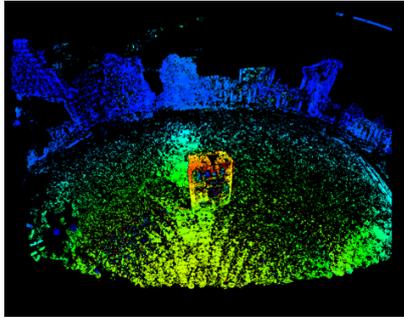


図 7 視差画像

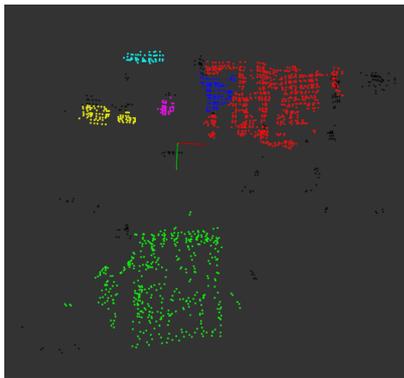
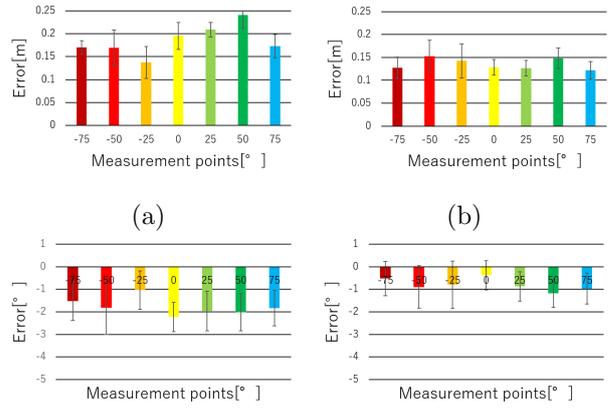


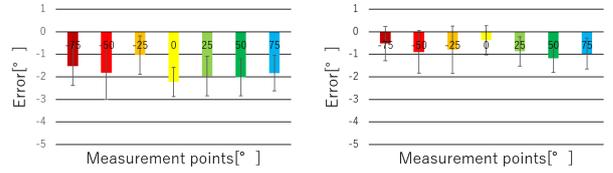
図 8 クラスタリング結果

図 12~14 に高さ 0.1 m の発泡スチロールを撮影した環境の画像、視差画像、クラスタリング結果を示す。図 14 において赤枠で囲われている部分が発泡スチロールである。実験結果は方位角  $-25^\circ$ ,  $0^\circ$  において識別が不可能であったが方位角  $25^\circ$  においてのみ 25 回の計測中 23 回識別可能であった。方位角  $25^\circ$  における結果を表 1 に示す。データが少ないため正確なことは言えないが 0.5 m の段ボールを撮影した時に比べて良い値となっている。図 15 に方位角  $-25^\circ$  において計測された発泡スチロールを示す。図 15 の緑の枠内が発泡スチロールを計測した点であるが発泡スチロールの上面の点が正しく計測されていないことが分かる。特定のエッジ方向に対して誤計測があることから対象物のエッジ方向がオプティカルフローと同じ方向となり開口問題により正しく計測できないことが原因の可能性はある。障害物高さが低いほど精度が良くなるのか、障害物の角度によりデータに誤差が生まれるのかは今後検証する必要がある。



(a)

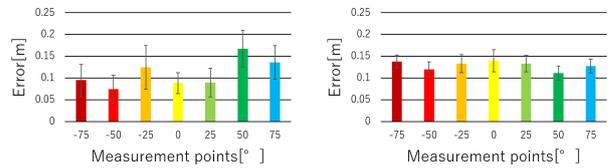
(b)



(c)

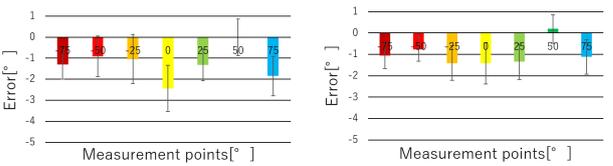
(d)

図 9 1m: (a) 障害物高さ誤差 (b) カメラ高さ誤差 (c) カメラのロール角誤差 (d) カメラのピッチ角誤差



(a)

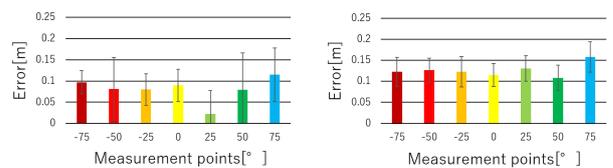
(b)



(c)

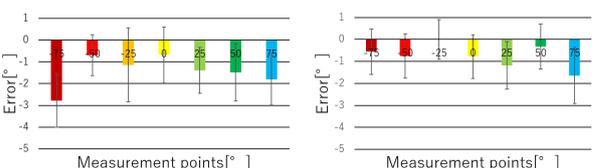
(d)

図 10 2m: (a) 障害物高さ誤差 (b) カメラ高さ誤差 (c) カメラのロール角誤差 (d) カメラのピッチ角誤差



(a)

(b)



(c)

(d)

図 11 3m: (a) 障害物高さ誤差 (b) カメラ高さ誤差 (c) カメラのロール角誤差 (d) カメラのピッチ角誤差



図 12 正距円筒画像

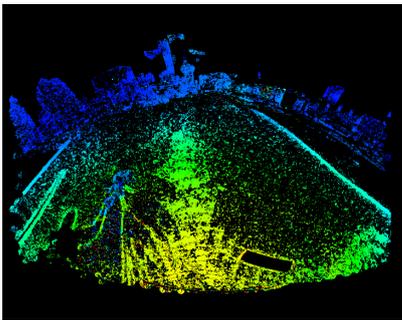


図 13 視差画像

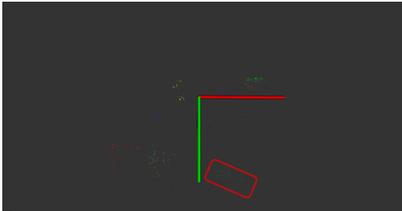


図 14 クラスタリング結果

表 1 方位角 25° における実験結果

	誤差平均	標準偏差
障害物高さ [m]	0.08	0.07
カメラ高さ [m]	0.18	0.03
ロール角 [°]	0.48	1.15
ピッチ角 [°]	0.94	1.33

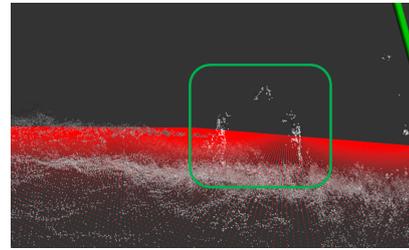


図 15 方位角 -25° における発泡スチロールの点群

#### 4. 結論

本研究では、魚眼ステレオカメラを用いて得られた三次元情報を用いて路面平面、障害物の高さの推定を行った。実験は大きくバイアスが残る結果となったが高さ 0.5 m の障害物を正しく識別しすることが可能であった。また、特定の位置において 0.1 m の障害物も識別が可能であった。今後の展望として、高さ推定時に残っているバイアスの原因の検討や、複数の平面が存在する環境への対応が挙げられる。また、得られた三次元情報を奥行、方位角情報を保持した二次元へ圧縮を行うことによるクラスタリングの高速化が必要である。

#### 参考文献

- [1] Y.Weï et al., "Harnessing U-disparity in Point Clouds for Obstacle Detection," 2017 4th IAPR Asian Conference on Pattern Recognition(ACPR), Nanjing, pp. 262-267, 2017.
- [2] 江口純司 他: "三次元測量センサを用いた走行可能領域の抽出" 計測自動制御学会論文集, vol. 52, no. 3, pp. 152-159, 2016.
- [3] M. Liu et al., "Stereo Vision Based Road Free Space Detection," 2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID), Hangzhou, pp. 272-276, 2016.
- [4] 関見仁 他: "ステレオ動画像を利用した平面領域抽出による障害物検出," 情報処理学会誌, vol. 45, no. SIG 13, pp. 17-24, 2004.
- [5] 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.
- [6] 凌 佳怡 他: "複数の視差オフセットマップの組み合わせによる魚眼ステレオカメラの高精度化," 第 25 回画像センシングシンポジウム (SSII2019), IS2-15, 2019.
- [7] 飯田 浩貴 他: "魚眼ステレオカメラの 2 眼ステレオとモーションステレオの融合による距離画像計測," 日本機械学会論文集, vol. 85, no. 875, p.19-00069, 2019.
- [8] M. A. Fischler et al., "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Comm. of ACM, 24-6, pp. 381-395, 1981.
- [9] Radu Bogdan Rusu, "Semantic 3D Object Maps for Everyday Manipulation in Human Living Environments," Technische Universität München, PhD dissertation, 2009.