

# 魚眼ステレオカメラを用いた視差画像における分割スケールに着目し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（フォルシアクラリオン・エレクトロニクス（株））

福田大輔（フォルシアクラリオン・エレクトロニクス（株））

Sarthak Pathak（中央大学） 梅田和昇（中央大学）

## 1. 序論

近年、運転支援システムに関する研究、開発が盛んに行なわれている。特に環境把握は重要なタスクであり、距離センサとしてLiDARやステレオカメラを用いた様々な手法が提案されている。ステレオカメラは安価であり、実用面でも期待が高い。ステレオカメラを用いた3次元点群において路面領域を推定し、障害物を抽出する手法が研究されている。関らは射影変換が平面に投影されるという性質を利用した手法を提案している[1]。しかし、この手法では路面の傾斜が変化する環境に対応していない。また、uv-disparityという3次元点群を二種の2次元に圧縮して路面の推定を行う手法が提案されている[2][3]。しかし、この手法ではカメラが地面に対してロール角方向に傾きが無いことが前提とされており、車が傾いた際に問題となる。色情報のみを用いて障害物を抽出する手法として深層学習を利用する手法[4]～[6]も提案されているが、学習データから環境が変わると対応出来ないという問題が存在する。また、ステレオカメラを使用した手法は視野角が狭いことも安全面で問題となりうる。我々は、視野角の広いステレオカメラとして魚眼ステレオカメラを提案し[7]、そのカメラを応用した障害物検知システムを提案した[8]。この手法も関らの提案した手法と同様に路面の傾斜に対応していないという問題がある。そこで、本研究では視差画像における領域の分割の大きさにより推定される平面の違いに着目し、路面の傾斜の変化に対応可能な路面推定、障害物抽出手法を提案する。

## 2. 提案手法概要

提案手法の概要を図1に示す。手法は3次元計測、路面平面推定、障害物抽出により構成されている。3次元計測には密な3次元情報を広範囲で取得可能な擬似バイラテラルフィルタを用いた手法を使用する[9]。また、路面平面推定では複数の平面をフィッティングすることにより傾斜の変化に対応した手法を提案する。その際、3次元空間ではなく、ステレオカメラ特有の偶然誤差を考慮し易い視差空間を使用する。障害物抽出ではモルフォロジー処理を行った後に距離における頻度値を用いてクラスタリングをおこなう。

## 3. 擬似バイラテラルフィルタを用いた3次元計測

擬似バイラテラルフィルタを用いた3次元計測手法では密な領域ベースの2眼ステレオカメラにより得ら

れた3次元情報を元に高精度なSfMの情報を融合することにより密で高精度な3次元計測を実現している[9]。また、擬似バイラテラルフィルタを用いた3次元計測手法では、魚眼画像の歪みを軽減するため、魚眼画像を図2で示す正距円筒画像へと変換している。本手法ではこの正距円筒画像で融合された視差を用いるが、この正距円筒画像の視差空間を考えると魚眼ステレオカメラ特有の誤差を考慮しやすいため、以降は正距円筒画像の視差空間において処理を行う。

## 4. 階層構造を利用した路面平面推定

### 4.1 前処理

魚眼ステレオカメラから得られた3次元情報には、はずれ値が存在し、路面平面推定に悪影響を及ぼす。はずれ値は周辺のデータとの値の差が大きいことから近傍点の密度の低さから判断することが可能である。しかし、3次元で密な情報を扱っているため密度計算は時間を要する。そこで、計算コストを抑えてはずれ値を除去するために仰角 $\phi$ と視差 $\Delta\lambda$ の2次元空間を考える。図3は仰角-視差空間における計測点とはずれ値を表した図である。各方位角に対して仰角方向に探索をし、視差の変化量がしきい値 $\Delta\lambda_{th}$ 以上の領域が仰

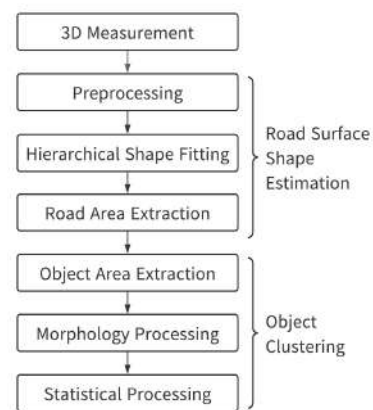


図1 The flow of proposed method



図2 Equirectangular image

角の幅のしきい値  $\phi_{th}$  以下である場所をはずれ値として除去する。

## 4.2 平面推定

平面推定を行う際、障害物の存在や路面の傾斜の変化が点群に対して正しい平面を推定できない要因となる。そこで、視差画像の分割を考える。視差画像を分割するとその領域内に障害物と路面が同時に存在している可能性が減り、路面形状を平面へ近似しやすくなる。しかし、推定する領域を小さくしすぎると今度は点群の計測時における偶然誤差の影響を受けてしまう。そのため、路面推定において適切な分割の大きさが存在すると考えられる。視差画像において路面推定の際に使用する領域の分割の大きさを変更し、変更前後で推定される平面パラメータが一致する箇所が点群に対して良く当てはまった平面であると仮定し、以下の手法を提案する。

- Step1) 視差画像を正方形領域のブロックに分割する。ただし、正方形の一辺の長さを  $2^n (n \in \mathbb{N})$  とする。
- Step2) 各ブロックに対し図 4 にある点が中心となるように  $2^{n-1}$  の大きさのメディアンフィルタを 9 箇所に応用する。
- Step3) Step2 で得られた値を用いて式最小二乗法により式 (1) の平面パラメータを求める。
- Step4) 各ブロックの長さを半分に分割し（一辺の長さを  $2^{n-1}$  とする）Step2~3 を行う。
- Step5) 分割の前後での平面パラメータの類似度を算出し、類似度が高い場合 Step5、低い場合 Step6 を行う。
- Step6) 得られている平面パラメータは適切な分割において推定されたとし平面パラメータを確定する。
- Step7) Step4 を行い、Step5 を行う。

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

ただし、 $(a, b, c)$  を平面パラメータ、 $\lambda$  を方位角、 $\phi$  を仰角、 $\Delta\lambda$  を視差とする。

この様にして得られた平面群には障害物に当てはめられたものが存在する。そこで、得られた平面群の傾きの変化に着目して障害物に対応する平面を除去する。始めに図 5 のようにシード点を複数用意し、各シード点において傾きの変化が少ない領域に対して領域を

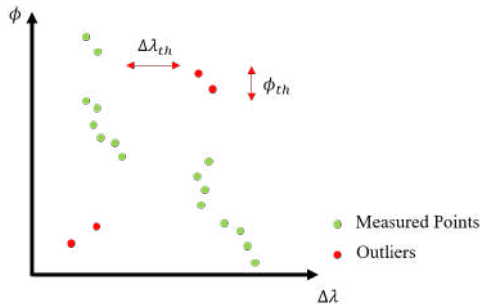


図 3 Disparity-elevation angle space

拡張していく。最終的に得られた領域が大きいシード点を選択し、そのシード点を拡張して得られた領域を路面平面領域とする。

## 5. 障害物の抽出と高さ推定

### 5.1 モルフォロジー処理

4 章において得られた路面平面を用いて点群から障害物候補を抽出する。障害物に対応する平面が推定された領域での路面を定めるため、近傍の路面領域における平面パラメータの平均を取り、障害物領域における平面パラメータを補間する。得られた平面との視差の差にしきい値を設け、それ以上の点を障害物とする。次に、障害物が存在する場所を 1、存在しない場所を 0 とした 2 値画像を生成する。この画像に対して近傍に 0 が多い場所は 0、1 が多い箇所は 1 とする処理を行う。この処理を行うことで小領域と穴を除去する。この様にして得られた画像に対して連結を考慮したクラスタリングを行う。

### 5.2 統計処理

5.1 節において一時的なクラスタリングが行われたが、2 値画像に圧縮して考えているので、オクルージョンのある障害物や近くの障害物が結合してしまい、同一の障害物として抽出されてしまう。また、擬似バイラテラルフィルタにより路面と障害物の間にも点が計測され、障害物として抽出されることがある。そこで、クラスタリングによって抽出された各障害物に対して距離に関する頻度値を考える。頻度値の少ない点は障害物と路面の間にある誤計測点であるとし除去する。また、同一の障害物は類似した距離に連続して分布しているため、断続的な箇所が存在する場合は別の障害物として抽出する。

## 6. 精度評価実験

### 6.1 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、障害物の抽出が正しく行えるか検証した。撮影環境はア

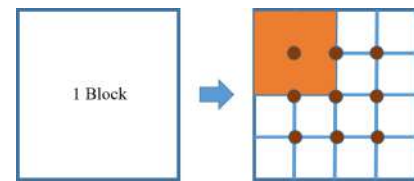


図 4 How to split a block in disparity image

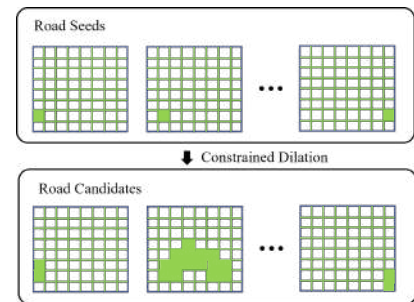


図 5 Road area estimation

スファルトで覆われた平らな環境とし、評価項目を障害物までの距離、障害物高さの精度とした。環境の概略図を図 6 に示す。障害物の中心が方位角  $0^\circ$  に写るように障害物を設置し、障害物とカメラ間の距離 1 m, 2 m, 3 m において各 10 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  $30^\circ$  傾けて設置し、SfM の移動量は 0.15 m 直進とした。前処理のしきい値は視差方向に 0.004 rad, 仰角方向に 15 pixel とした。路面平面の際に用いる類似値は正規化された平面パラメータの内積とし、しきい値を 0.95 とした。障害物のクラスタリングに関しては、頻度値が 60 以上の点がある領域を障害物のある領域とし、障害物のある領域の距離の間隔が 0.3 m 以上ある場合に分割して別の障害物とした。

## 6.2 実験結果

実験結果を図 7～9 に示す。図 7 は正距円筒画像と視

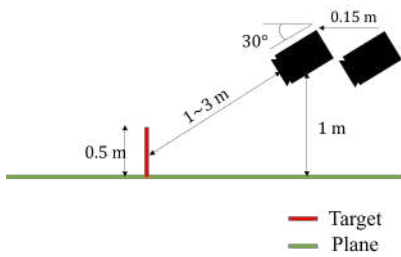
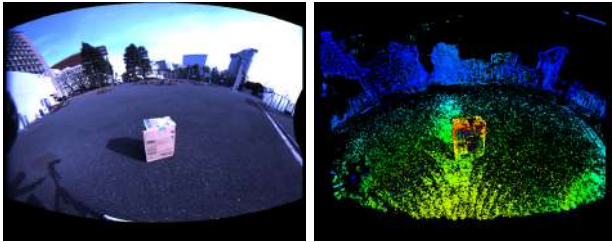
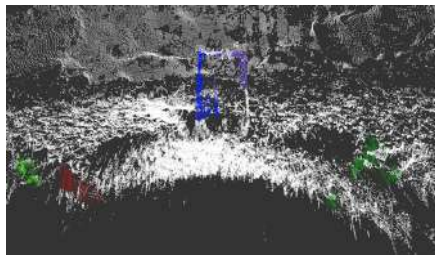


図 6 Experimental condition

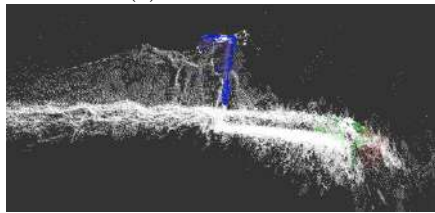


(a)Equirectangular image (b)Disparity image

図 7 Images with the target at 1 m



(a)The front view



(b)The side view

図 8 Point clouds with the target at 1 m

差画像である。図 8 は得られた 3 次元情報を 3 次元表示したものであり、各障害物を色で表示している。中心部の障害物が二つに分かれているが、これは対象の特徴が少ないためである。しかし、車が通れるかの判断に対して分裂は影響しないことから問題にならないと考えている。また、左右に存在しない障害物が検出されているが、これは擬似バイラテラルフィルタを用いた計測の際に近傍で不連続な系統誤差が存在していることが影響している。障害物高さ、障害物までの距離の誤差は最大で 0.3 m もあるが、点群の当てはまり具合から、障害物の誤検出が原因であるとは考えにくい。そのため、障害物高さ、障害物までの距離の誤差は 3 次元計測誤差による影響が大きいと考えられる。

## 6.3 3 次元点群に対する評価実験

以上の実験により 3 次元計測の誤差の影響が大きいと考えられた。3 次元計測の誤差と提案手法が原因の誤差を切り分けるため、3 次元点群が正しく計測されたと仮定した場合における手法の精度を評価する。対象の障害物に対して図 10 のように手動で平面を当て、障害物までの距離、高さを算出する。この値を真値とすることにより、3 次元点群に対する精度を評価する。高さの場合は

$$Y \cos 30^\circ + Z \sin 30^\circ + d = 0 \quad (2)$$

を障害物の上下に当てはめ、

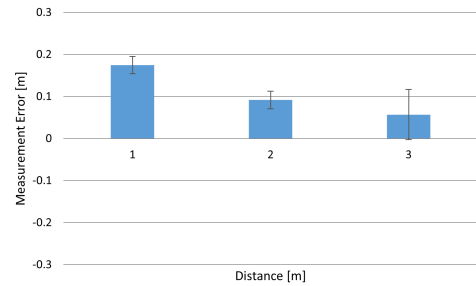
$$h = d_{top} - d_{bottom} \quad (3)$$

を用いて真値を算出する。障害物までの距離の場合は

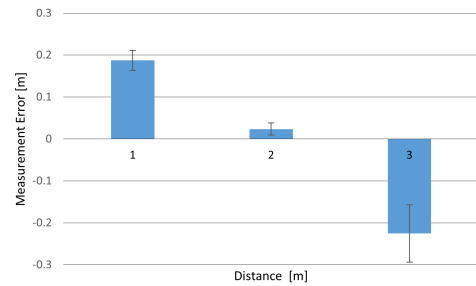
$$Y \cos 120^\circ + Z \sin 120^\circ + d = 0 \quad (4)$$

を障害物に当てはめ、

$$D = \sqrt{d^2 + 0.75^2} \quad (5)$$



(a)Mean and standard deviation of height errors



(b)Mean and standard deviation of distance errors

図 9 Evaluation with 0.5 height target



を用いて真値を算出する。真値以外の条件，評価項目は真値を変更する前の実験と同じとする。

実験の結果を図 11 に示す。真値を変更する前の実験と比較すると最大でも 0.1 m と誤差が小さくなっていることが分かる。このことから手法の精度は 3 次元計測の誤差に大きく影響を受けているが，点群に対しては精度よく当てはめが行なえていると言える。

## 7. 結論

本研究では，魚眼ステレオカメラを用いて得られた 3 次元点群を利用し，視差画像の分割スケールに着目した路面平面，障害物の高さ推定を行う手法を提案した。実験により，傾斜の変化が少ない環境において障害物が検出可能であることを示した。また，障害物の高さや障害物までの距離の計測における誤差の原因は主

に点群の計測誤差であり，障害物の高さや距離は計測された点群に対しては正しく推定できていることが分かった。今後の展望として傾斜の変化が起こる環境やオクルージョンが発生する環境において路面平面の推定，障害物の抽出が可能か検証することが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 関 晃仁他:”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.
- [2] M. Liu et al.,”Stereo Vision Based Road Free Space Detection,” 2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design(ISCID), pp. 272-276, 2016.
- [3] W. Song et al.,”Real-Time Obstacles Detection and Status Classification for Collision Warning in a Vehicle Active Safety System,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (ITSS), vol. 19, no. 3, pp. 758-773,2018.
- [4] P. Li, X. Chen and S. Shen, ”Stereo R-CNN Based 3D Object Detection for Autonomous Driving,” 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 7636-7644, 2019.
- [5] B. Li et al., ”GS3D: An Efficient 3D Object Detection Framework for Autonomous Driving,” 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019.
- [6] X.Chen, et al., ”3D object proposals using stereo imagery for accurate object class detection,” Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017.
- [7] 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.1085-1100, 2017.
- [8] 佐久田 朝優他:”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,” 日本ロボット学会学術講演会予稿集, vol. 38, pp. 2D1-03, 2020.
- [9] 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ー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.

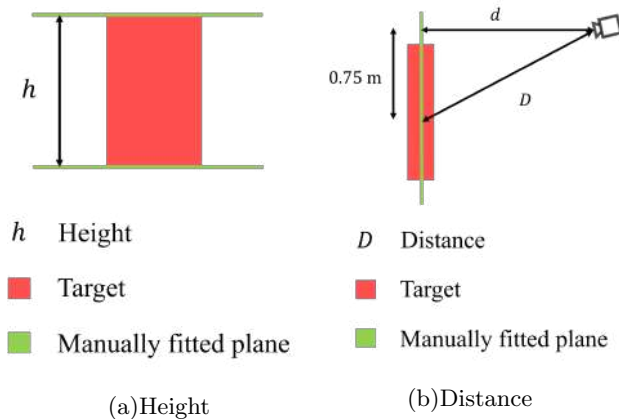


図 10 Manual calculation of ground truth height and distance of target obstacle

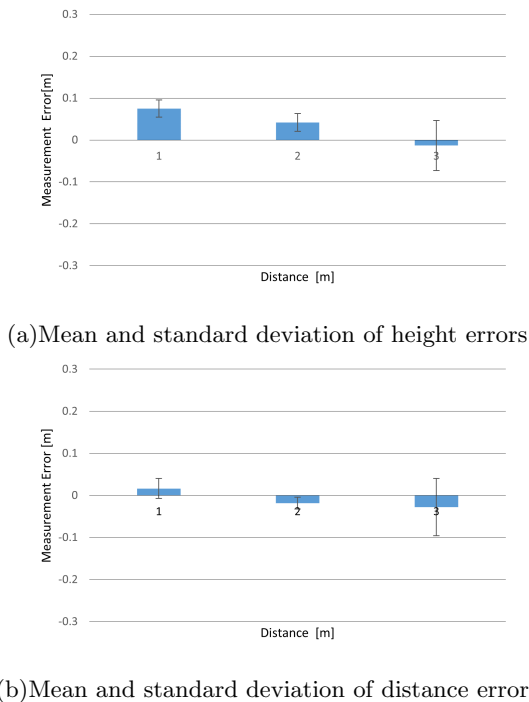


図 11 Evaluation of experiment with manually calculated ground truth values