

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

Estimation of Road Surface Shape and Object Height Focusing on the Division Scale in Disparity Image Using Fisheye Stereo Camera

精密工学専攻 26号 佐久田朝優
Tomoyu Sakuda

1. 序論

近年、運転支援システムに関する研究、開発が盛んに行われている。運転支援システムではLiDARやステレオカメラなどの距離センサから受け取った情報をもとに運転手を支援するが、支援する必要があるか状況を判断するために車の周辺環境の把握を行う必要がある。使用されている距離センサの中でも特にステレオカメラは計測密度が高いこと、カラー画像が取得可能であることなどから車の周辺環境を詳しく把握するために用いられており、様々な環境把握の手法が提案されている[1]~[6]。

路面領域を推定し、障害物を抽出することにより環境を把握する手法としてUV-disparityを用いる手法が提案されている[1][2]。しかし、この手法はカメラのロール角が 0° であるという仮定を置いており、片輪が段差に乗り上げた際に路面を正しく推定できない。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[3]。しかし、この手法では傾斜が途中で変化する環境など路面が一つの平面で近似が出来ないときに路面を正しく推定することが出来ない。

画像上の色情報のみから障害物を検知することで環境を把握する手法として深層学習を用いる研究[4]~[6]が盛んに行われている。しかし、深層学習は学習時のデータと異なる環境への対応が難しいこと、不具合が生じた際の原因を説明できないという説明可能性の低いことが課題である。上記手法は全て一般的なステレオカメラを用いており、距離画像センサの視野角の狭さが原因で計測可能な範囲が狭いという問題もある。よって、本研究では、視野角の広い魚眼ステレオカメラ[7]を距離画像センサとして利用する。また、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が変化することを利用して路面平面推定を行い、障害物を抽出する。このことにより広範囲で傾斜の変化する環境に対応した深層学習に依存しない環境把握手法を提案する。

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次元計測には擬似バイラテラルフィルタを用いた手法を使用する[8]。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。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次元計測手法では領域ベースの2眼ステレオカメラにより得られた密な距離画像を元にStructure from Motion (SfM)により得られる高精度な距離画像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[8]。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特有の歪による3次元計測への悪影響を避けるため、図2に示すように魚眼画像から歪みを軽減した正距円筒画像へ変換が行われる。この正距円筒画像の視差空間において処理を行うことにより、実空間に変換した際に生じる誤差の引き延ばしを考慮する必要がないため、以降の処理は正距円筒画像の視差空間において行う。

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、はずれ値が含まれており、路面平面推定に悪影響を及ぼすため、除去する。はずれ値は周辺のデータとの値の差が大きいため、変化の大きい領域を探し、除去すればよい。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 $\Delta\lambda_{th}$ 以上の領域が仰角の幅のしきい値 ϕ_{th} 以下である場所がはずれ値として考えることが出来るので、その領域内の点を除去する。

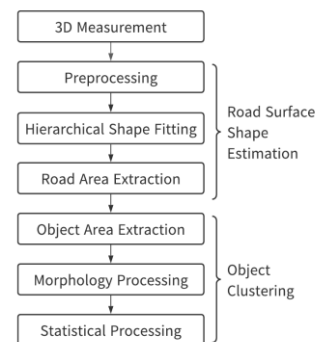


Fig.1 The flow of proposed method

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平面を正しく当てはめられない要因となる。そこで、平面推定する領域の分割を考える。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、適切な分割の大きさで平面を推定するために分割の大きさを変え平面推定を行う。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路面平面を推定する。以下に手法の手順を示す。

- 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にある茶色の点を中心となるように $2^{n-1} \times 2^{n-1}$ の大きさのメディアンフィルタを9箇所適用する。
- Step3) Step2で得られた値を用いて最小2乗法により平面パラメータ(a, b, c)を求める。
- Step4) 各ブロックの長さを半分に分割しStep2~3を行い、Step5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Step6、低い場合Step7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を行う。試行回数が一定以上超えた場合はその場所を平面パラメータ推定不可とする(障害物と路面の境界など)。

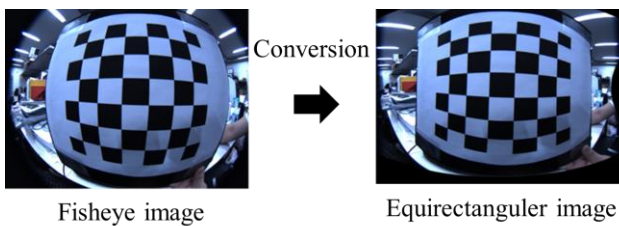


Fig.2 Equirectangular image

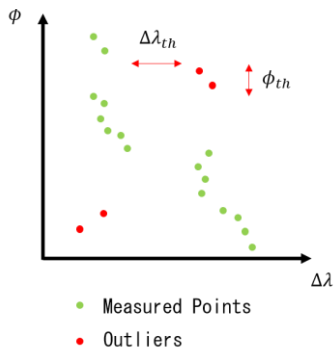


Fig.3 Disparity-elevation angle space

面の境界など)。

Step3) の平面パラメータの算出には、

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

を用いる。ただし、(a, b, c) は平面パラメータ、 λ は方位角、 ϕ は仰角、 $\Delta\lambda$ は視差である。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平面が存在する。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。図5のようにシード点を複数個用意し、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拡張していく。最終的に得られた領域から領域の面積が最も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の絶対値にしきい値を設け、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。この画像に対してオープニング・クロージング処理を行い、小領域と穴を除去する。その後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節においてクラスタリングを行った。しかし、2値画像での処理であるためオクルージョンのある障害物などが結合してしまい、同一の障害物として抽出されてしまう。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に着目する。同一障害物から計測

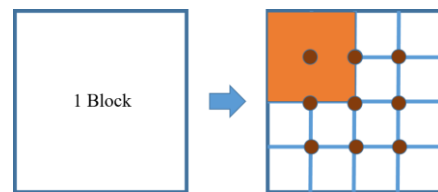


Fig.4 How to split a block in disparity image

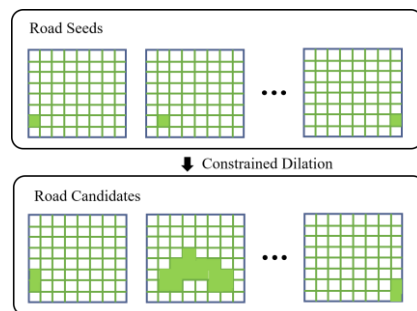


Fig.5 Road area estimation

される距離の値は連続となることから、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。また、傾度値の低い点は誤計測点として除去する。

6. 精度評価実験

6.1 実験条件

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。また、障害物までの距離、障害物高さの精度を評価した。環境の概略図を図6に示す。障害物の中心が方位角 0° にな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回撮影を行った。魚眼ステレオカメラは高さ1 mの位置に設置し、ピッチ角を 30° として撮影を行った。また、カメラの移動量は水平方向に0.15 m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。平面推定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0.98とした。制限付き膨張では、正規化された平面パラメータの内積がしきい値0.95以上、画像上で隣接線における線の距離の平均が0.35m以下であることを制限とした。障害物のクラスタリングに関しては、傾度値が40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内、距離が0.3 m 以上不連続で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差画像である。図8は得られた3次元情報を3次元点群表示した図であり、各障害物を色で区別している。中心部の障害物は正しく検出されているが、左右に存在しない障害物が検出されている。これは3次元計測時に不連続な系統誤差が生じていることが原因である。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

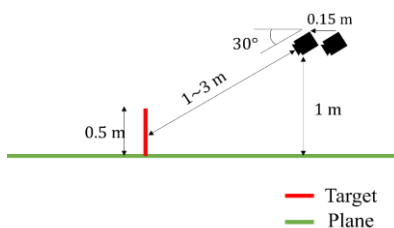
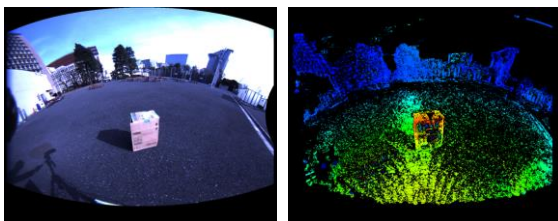


Fig.6 Experimental condition



(a)Equirectangular image (b)Disparity image

Fig.7 Images with the target at 1m

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

前節の実験により3次元計測の誤差の影響が大きいと考えられた。3次元計測の誤差の影響を取り除くため、手動で3次元点群における障害物の高さ、障害物までの距離を計算し、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はめ、障害物までの距離、高さを算出する。

障害物高さの場合は

$$y \cos 30^\circ + z \sin 30^\circ + d = 0 \quad (2)$$

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

$$y \cos 120^\circ + z \sin 120^\circ + d = 0 \quad (4)$$

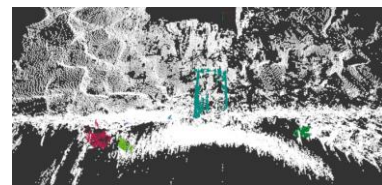
を障害物に当てはめ、

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

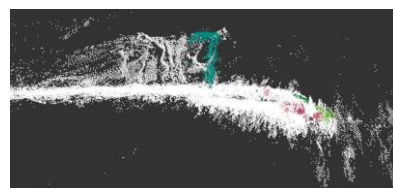
により障害物までの距離 D を求める。ただし、 (x, y, z) は移動後の右カメラにおけるカメラ座標系の座標とし、 d を手動で当てはめるパラメータとする。また、障害物上面、障害物と路面の境界に当てはめる平面を添え字 top , $bottom$ を用いて表している。0.75はカメラの高さ1 mから障害物の高さ0.5 mの半分の値を引いた値である。実験の結果を図11に示す。6.2節の実験結果と比較するとかなり誤差が小さくなっていることが分かる。このことから手法の精度は3次元計測の誤差に大きく影響を受けているが、3次元点群に対しては精度よく当てはめが行なえていると言える。

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、障害物の高さと障害物までの距



(a)The front view



(b)The side view

Fig.8 Point clouds with the target at 1m

離の計測における誤差の原因は主に3次元計測誤差であることを示した。

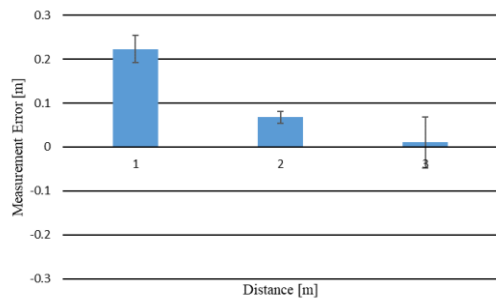
今後の展望として、傾斜の変化が起こる環境やオクルージョンが発生する環境において路面平面の推定、障害物の抽出が可能か検証することが挙げられる。

参考文献

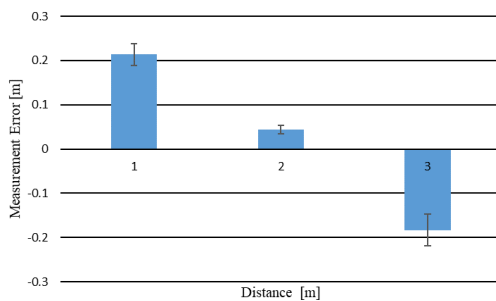
[1] M. Liu et al., "Stereo Vision Based Road Free Space Detection", 2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID), pp. 272-276, 2016.
 [2] W. Song et al., "Real-Time Obstacles Detection and Status Classification for Collision Warning in a Vehicle Active Safety System", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (ITSS), vol. 19, no. 3, pp. 758-773, 2018.
 [3] 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

る障害物検出," 情報処理学会誌, vol. 45, no. SIG 13, pp. 17-24, 2004.

[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] 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.

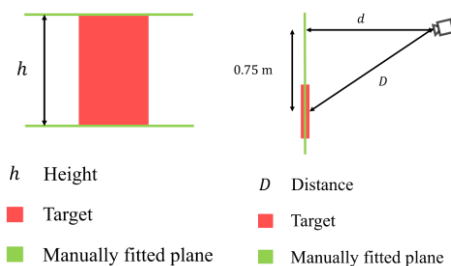


(a) Height of the object



(b) Distance to the object

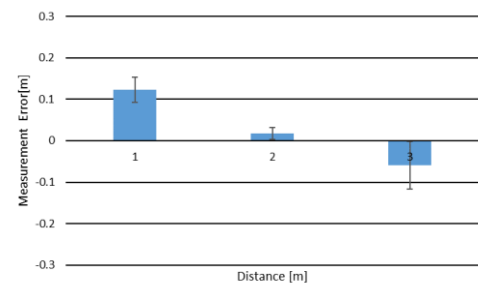
Fig.9 Measurement error



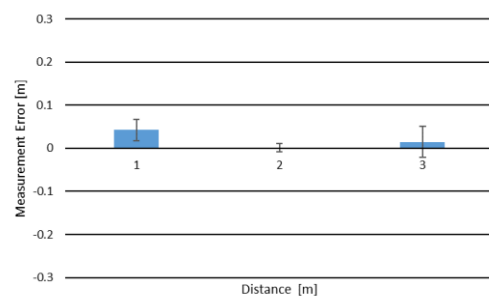
(a) Height

(b) Distance

Fig.10 Manual calculation of height and distance of target



(a) Height of the object



(b) Distance to the object

Fig.11 Measurement error with manually calculated true