

魚眼ステレオカメラを用いた視差情報と輝度情報による 障害物の検出と高さ推定

Obstacle Detection and Height Estimation Using Disparity and Intensity Information with a Fish-eye Stereo Camera

○学 筑後 光 (中央大) 新井 健斗 (中央大)
Sarthak Pathak (中央大) 正 梅田 和昇 (中央大)

Hikaru CHIKUGO, Chuo University, chikugo@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Kento ARAI, Chuo University
Sarthak PATHAK, Chuo University
Kazunori UMEDA, Chuo University

In this paper, we propose a method for obstacle detection and height estimation using a fish-eye stereo camera. Disparity and intensity information is used. The method using only disparity information may incorrectly detect road surface as obstacles. Therefore, we obtain the intensity of the road surface by using the obstacle information obtained from the disparity and compare the intensity throughout the entire image to detect obstacles. Experiments show that the proposed method using the disparity and intensity information can detect only obstacles without detecting the road surface as obstacles. Experiments also show an improvement in the accuracy of height estimation.

Key Words: Fish-eye Stereo Camera, Autonomous Vehicle, Image Processing, Object Detection, Driveable Region

1. 緒言

近年、運転支援システムに関する技術の研究や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により計測された周囲の 3 次元情報をもとに運転を支援する。必要な支援が必要か判断をする際には車周囲の環境を把握する必要がある。車の周囲環境を把握する為に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、色情報を取得可能であることや、高い計測密度で計測が出来ることから周囲環境を詳しく把握する為に用いられ、様々な環境把握の手法が提案されている[1]~[6]。

ステレオカメラを用いた環境把握の手法は幾何学的な条件や 3 次元点群を利用して路面領域を推定し障害物領域を抽出する手法と単眼カメラの色情報から障害物の位置を検知する手法が用いられる。路面領域を推定し、障害物を抽出する手法では、射影行列を用いた手法[1]や uv-disparity を用いる手法[2][3]が上げられる。しかし、これらの手法は前提としている路面形状への制約が強く、路面の傾斜の変化などに対応していない。色情報から障害物を抽出する手法では、主に深層学習を用いた手法が提案されている[4]~[6]。しかし、これらの手法では、手法の精度が学習データに依存してしまうことや不具合の原因を知ることが難しく説明可能性が低いことが課題である。また、これらの手法[1]~[6]に用いられている一般的なステレオカメラは視野角が狭く、周囲環境の把握が可能な領域が狭いことも課題である。

佐久田らは広範囲の計測が可能な魚眼ステレオカメラを用いて傾斜の変化に対応した障害物の検出と高さ推定手法を提案した[7]。しかし、この手法では、距離情報のみを利用しているため障害物全体の検出が出来ない場合や路面を誤検出してしまふ場合がある。そこで、本研究では、この手法に輝度情報を追加することにより路面を誤検出せず、障害物のみを検出する手法を提案する。

2. 提案手法の概要

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、障害物識別の主に 3 つの領域に分類される。3 次元計測では、擬似バイラテラルフィルタを用いた計測を行う。路面平面推定は前処理、複数平面の重ね合わせ、路面領域の抽出を

行う。障害物識別では、障害物領域の抽出、統計的処理、各障害物の高さ推定を行う。本研究では、障害物識別における障害物領域の抽出のアルゴリズムに輝度情報を用いるアルゴリズムを追加した。

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、左右のカメラから運動前後に得られる計 4 つの画像から 3 種類の画像のペアに Structure from Motion(SfM)を行い、疎ではあるが高精度な 3 次元情報を取得する。この 3 次元情報を領域ベースの 2 眼ステレオカメラにより得られた密な 3 次元情報を元に融合し、密で高精度な 3 次元計測を実現している[8]。なお、この手法では、魚眼特有の歪による悪影響を軽減するため、正距円筒画像への変換が行われる[9]。

4. 路面平面推定

路面平面推定では、3 章で計測された視差画像を分割することで路面の平面パラメータを取得する。図 2 に示すように垂直方向の座標が大きい値で複数回制限付き膨張を行い、面積を比較する。比較した結果、面積が最大である領域を路面領域とする[7]。

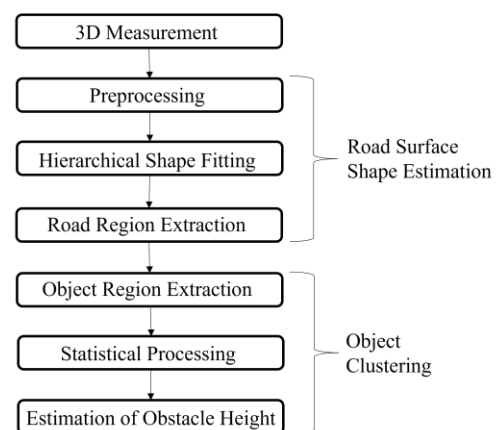


Fig.1 The flow of the proposed method

5. 障害物候補点の抽出

5.1. 視差による障害物候補点の抽出

4章において得られた路面平面群から障害物領域を抽出する。障害物領域に対応する箇所などでは路面が推定されていないことがある。そのため、障害物領域の近傍の路面領域における平面パラメータ平均を用いて平面パラメータを補完する。推定された路面との視差の差がしきい値以上ある点を障害物とする。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。以下、この画像を候補点画像と呼ぶ。

5.2. 輝度による障害物候補点の再抽出

5.1節で得られた候補点画像では、計測された障害物全体が障害物候補点として抽出されていないことがある。そのため、後述する路面の輝度を取得する処理において障害物の輝度を取得してしまう可能性がある。そこで、前処理としてエッジ情報とバウンディングボックスを用いることで障害物候補点の補間を行う。計測された正距円筒画像を平滑化し、ラプラシアンフィルタを適用することで路面のエッジの抽出を抑制しながら障害物のエッジを抽出する。次に、得られたエッジと5.1節で得られた障害物候補点の重なっている点における輝度とその周辺点の輝度を比較し、重なっている点と周辺点の輝度の差がしきい値以下であればその周辺点を障害物候補点とする。そして、連結性を考慮し、障害物候補点の領域をバウンディングボックスで囲み、その領域の点を障害物候補点と見なす。以上の処理で得られた情報を基に路面の輝度を抽出する。

候補点画像において、障害物候補点ではない点は路面候補点と考えることが出来る。そこで、図3に示すように正距円筒画像において、路面候補点と同一座標の出現数が50個以上の輝度を抽出し、正距円筒画像上で比較することにより路面の輝度を抽出する。ここで、出現数は実験的に決定した。以下に手順を示す。

- Step1) 正距円筒画像において、路面候補点の座標と同一の座標の輝度を抽出する。
- Step2) Step1で得られた輝度のうち、出現数が50個以上の輝度を選択する。
- Step3) 正距円筒画像において、Step2で得られた輝度と同一の輝度の座標を調べる。
- Step4) Step3で得られた座標を路面候補点、それ以外を障害物候補点とする。

5.3. 候補点画像の融合

5.2節において、障害物候補点の再抽出を行った。しかし、輝度を主に用いているため路面の輝度と障害物の輝度が類似している場合、障害物候補点として抽出出来ないことがある。また、抽出した障害物候補点数が少ない場合、後述する統計的処理によりノイズとして除去されてしまうことがある。そこで、輝度によって得られた候補点画像に5.2節の前処理において補間された障害物候補点を追加する。

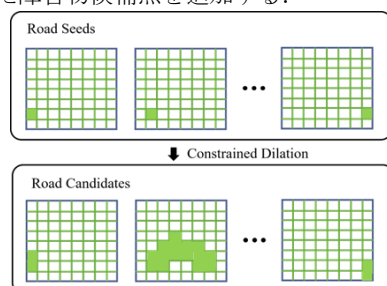


Fig.2 Road region extraction in disparity image

6. クラスタリング

6.1. 統計的処理

5章で得られた画像に対して連結した領域を1つのクラスと見なすクラスタリングを行う。しかし、カメラからの距離を考慮していないため、オクルージョン等で同一の障害物としてクラスタリングされてしまう。そこで、カメラからの距離を考慮することで再度クラスを分ける。各クラスにおいて、類似している距離値の点がしきい値以上ある場合、その領域を1つのクラスと見なす。類似している距離値の点がしきい値未満である場合、そのクラスはノイズと見なし除去する。

6.2. 障害物の高さ推定

各クラスを一つの障害物として高さを算出する。クラスに含まれる点で、

$$Height = \frac{|aX+bZ+cY-base|}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \quad (1)$$

を計算し、最大値をそのクラスの障害物高さとする。ただし、(a, b, c)は平面パラメータ、Heightは障害物の高さ、(X, Y, Z)は3次元座標、baseは魚眼ステレオカメラの基線長である。

7. 精度評価実験

7.1. 実験環境

本実験では、高さ0.31mの段ボールを障害物として実験を行った。提案手法によって、路面を誤検出せず、障害物のみを検出することが可能か確認した。また、障害物である段ボールまでの距離と障害物の高さの精度、障害物をクラスタリングした点数を評価した。撮影環境は傾斜の角度が変化しない平らな環境である。実験の概念図を図4に示す。これは撮影の様子を横から見た図であり、赤い領域が障害物、緑の領域が路面を表している。黒い領域は魚眼ステレオカメラを表しており、右から左へ1frameで0.15m平行移動している様子を表している。カメラは30°路面方向に傾けた。障害物の中心が方位角-60°, 0°, 60°になるように障害物を設置し、障害物までの距離を1m, 2m, 3mとして各10回撮影を行った。

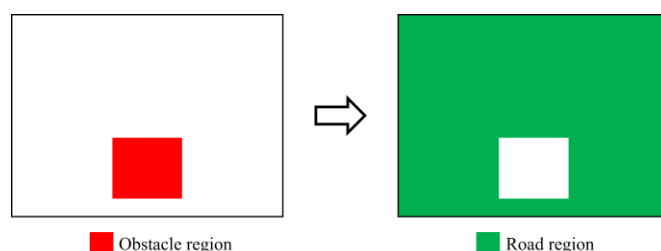


Fig.3 Extraction of road surface region by intensity

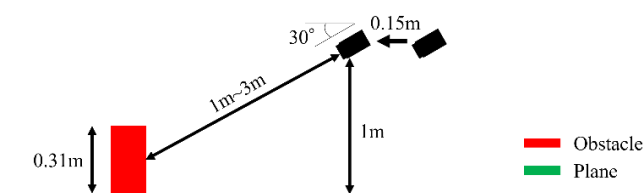
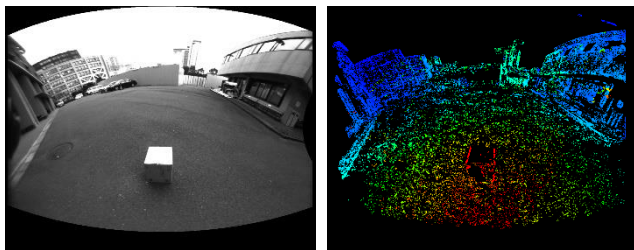


Fig.4 Experimental condition

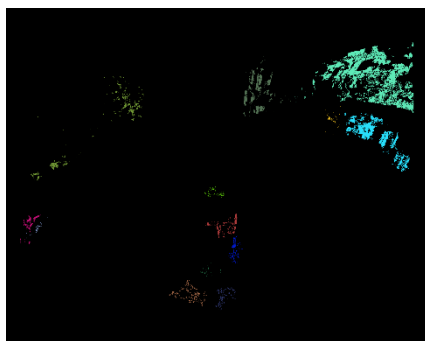
7.2. 実験結果

実験結果を図5~9に示す。図5は正距円筒画像と視差画像、図6はクラスタリングの結果を表した画像であり、各障害物を色で区別している。図7は障害物とカメラ間の距離の計測誤差の平均と標準誤差を表している。図8は障害物の高さの計測誤差の平均と標準誤差を表している。図9は障害物である段ボールをクラスタリングした点数の平均と標準誤差を表している。図6より、先行研究では障害物を検出出来ているが、画像下側の路面を誤検出していることが分かる。提案手法では路面を誤検出せず、障害物のみを検出出来ていることが分かる。図7、図8より、ほぼ全ての状況において、提案手法における距離と高さの精度が先行研究と同等もしくは先行研究よりも向上したことが分かる。これは段ボールの側面ではなく上面を検出しているためであると考えられる。図9より、ほぼ全ての状況において、提案手法における障害物をクラスタリングした点数が先行研究と同等もしくは先行研究よりも向上したことが分かる。先行研究では、距離情報のみを利用しているため計測出来た領域のみを障害物候補点として抽出する。提案手法では、輝度情報も利用しているため計測出来ない領域も障害物候補点として抽出することが出来る。そのため、クラスタリングした点数が向上したと考えられる。

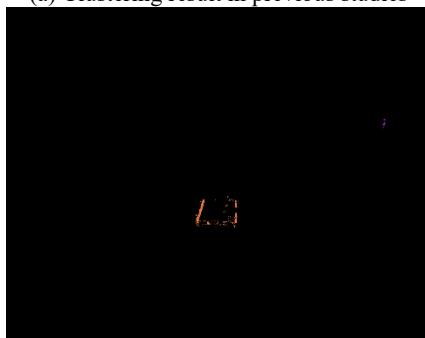


(a) Equirectangular Image (b) Disparity Image

Fig.5 Images with the target obstacle at 1 m



(a) Clustering result in previous studies



(b) Clustering result for the proposed method

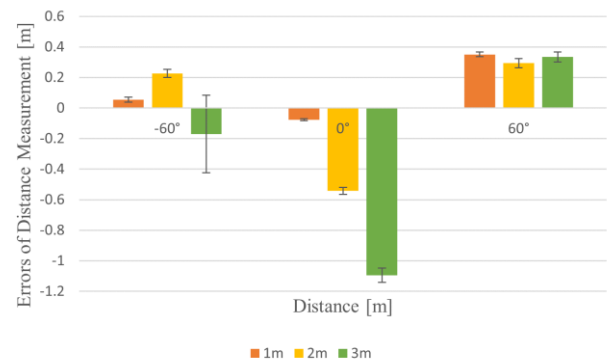
Fig.6 Clustering results

8. 結論

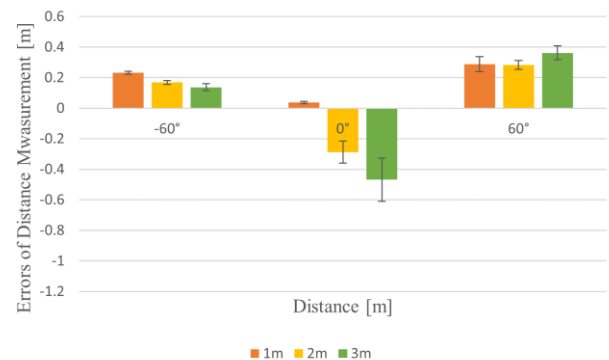
本研究では、広範囲で密な3次元情報から得られた視差情報と輝度情報を用いて路面を誤検出せず、障害物のみを検出し、それらの障害物の高さを推定する手法の構築を行った。実験により路面を誤検出せず、障害物のみを検出可能であることを示した。また、高さ推定の精度が向上したことも示した。しかし、運転支援を考えた場合、動物体の検出も重要となる。そのため、動物体も検出することが可能か検証する必要がある。また、魚眼ステレオカメラを用いた3次元計測の高精度化も重要であるため、今後研究を行っていく必要がある。

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," Proceedings of the 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," Proceedings of the 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", Proceedings of the 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", Proceedings of the 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] 佐久田朝優 他, "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", 第39回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3K1-02, 2021.



(a) Distance to the object in previous studies

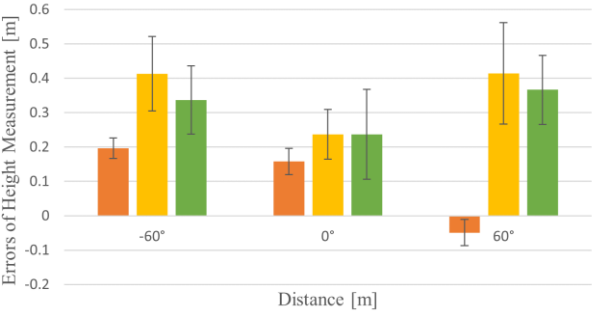


(b) Distance to the object in proposed method

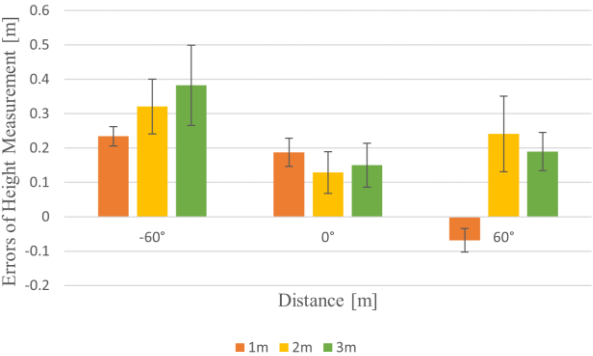
Fig.7 Errors of Distance Measurement

[8] 飯田浩貴 他, "擬似バイラテラルフィルタによる魚眼ステレオカメラの性能向上", 精密工学会誌, Vol.86, No.12, pp.969-974, 2020.

[9] 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.

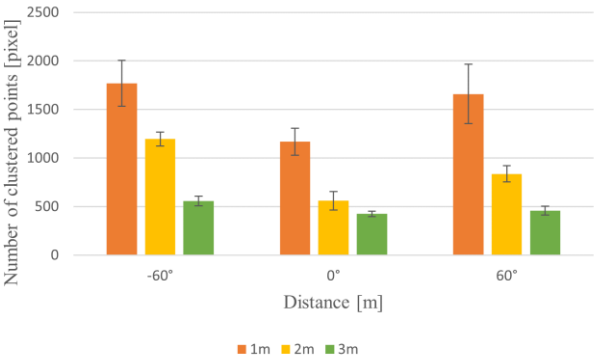


(a) Height of the object in previous studies

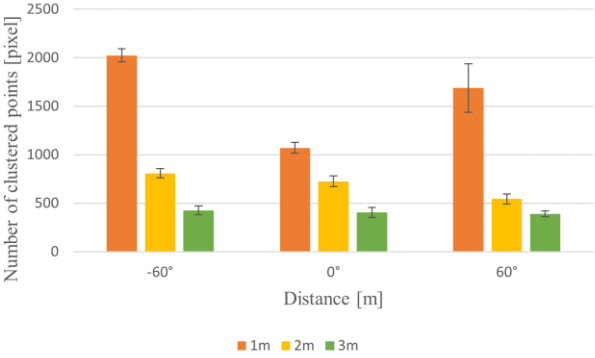


(b) Height of the object in proposed method

Fig.8 Errors of Height Measurement



(a) Number of clustered points of the object in previous studies



(b) Number of clustered points of the object in proposed method

Fig.9 Number of clustered points of the object