

基線長の短い車載ステレオカメラを用いた障害物検出手法の検討

和泉 圭祐

三浦 衛

伊藤 康一

青木 孝文

東北大学 大学院情報科学研究科

1 はじめに

障害物検出は、交通事故を未然に防止するための運転支援システムにおいて重要な基本処理である。近年では、走行環境を撮影した画像から障害物の検出・認識・測距を同時に行うことができるので、ステレオカメラを利用した障害物検出手法が注目されている。これまでに提案されている手法は、基線長の長いステレオカメラを使用することを想定しているため、利便性および実用性の面で問題となる。一方で、利便性を考慮して基線長の短いステレオカメラユニットを車両に搭載する場合は、測距精度が低いことと、従来の障害物検出手法に適さないことが問題となる。本稿では、基線長の短いステレオカメラを用いても、正確に障害物を検出する手法を提案する。提案手法は、位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC) を用いた画像対応付け [1] を用いることで高精度かつ密な視差画像を生成し、視差画像の等視差領域を検出することで走行環境中の障害物を検出する。基線長の短いステレオカメラで撮影した動画画像を用いた性能評価実験を通して、提案手法が従来手法よりも正確に障害物を検出できることを示す。

2 提案手法

提案手法は、ステレオ画像の対応付けによる視差画像の生成と、視差画像のクラスタリングの2つのステップからなる。以下では、それぞれの処理の詳細について述べる。

2.1 位相限定相関法を用いた視差画像の生成

基線長の短いステレオカメラを用いる場合、推定した視差は、画像対応付けの精度に大きく影響する。そのため、高精度な画像対応付け手法を用いることが必須である。本稿では、画像をフーリエ変換して得られる位相成分のみに着目した画像マッチング手法である POC を用いる。POC は、2つの画像信号の位相から計算された POC 関数からサブピクセル精度で画像間の平行移動量 (視差) を求めることができる [1]。本稿では、

(i) ステレオ平行化による 1 次元 POC の適用, (ii) 相関ピークモデルのフィッティング, (iii) 画像信号に対する窓関数の適用, (iv) 正規化相互パワースペクトルに対するスペクトル重み付け, (v) 画像ピラミッドを用いた階層的探索と組み合わせることで、画像対応付けの高精度化を図る [1]。左カメラ画像上のすべての画素に基準点を配置し、右カメラ画像上の対応点を求めることで、密な視差画像を生成する。

2.2 等視差領域のクラスタリング

高精度かつ密な視差画像を生成することができれば、周囲に同じ視差を持つ画素を 1 つのクラスタとして連結することで、障害物を検出することができる。路面領域は、画像の水平方向に視差の変化がなく、垂直方向にのみ視差の変化がある。そのため、はじめに画像の垂直方向に視差をクラスタリングすることで、誤って路面を障害物として検出することを防ぐ。次に、縦方向にクラスタリングされた領域を横方向に連結することで、等視差領域を検出する。等視差領域のクラスタリングは、実空間中における距離に基づいてクラスタリングのパラメータを決定することができる。また、画素の位置情報を保持したまま直接クラスタリングを行うため、正確な障害物検出を行うことができる。

3 評価実験・考察

ステレオ画像対応付け手法と視差画像のクラスタリング手法のさまざまな組み合わせについて障害物の検出精度を評価し、提案手法の有効性を実証する。2台のデジタルカメラ (PointGrey 社, Scorpion) を基線長 12 cm でほぼ水平に固定し、自動車のフロントガラスに取り付けて自車両の前方を撮影した動画画像を用いる。カメラのレンズの焦点距離は 6.5 mm、撮影画像は 1,280×960 画素のグレースケール画像、フレームレートは 15 fps である。本実験では、あらかじめ平行化されたステレオ画像を入力画像とする。実験では、図 1 に示すように、50 フレームからなる 6 シーンを用いる。障害物として検出する車両は、図 1 の四角で囲まれた 14 台とし、距離に応じて近距離 (10 ~ 30 m)、中距離 (40 ~ 70 m)、遠距離 (80 ~ 120 m) に分けて評価する。真値領域を不足なく検出した割合 (再現率)、真値領域を超過なく検出できた割合 (適合率) を評価するために、これらの調和平均

A Study of Obstacle Detection Using Narrow-Baseline Stereo Camera
Keisuke IZUMI Mamoru MIURA
Koichi ITO Takafumi AOKI
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

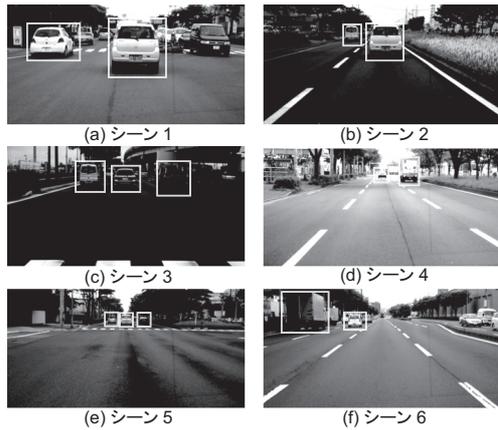


図 1: 入力画像と対象車両



図 2: 検出結果の例 (左: V-disparity, 右: 提案手法)

である F 値 (F-measure) [2] を全フレームに対して求める。従来手法として, 視差画像の生成には SGBM (Semi-Global Block Matching) [3], ELAS (Efficient LARge-scale Stereo) [4], NCC (Normalized Cross-Correlation) を用い, 視差画像のクラスタリングについては, V-disparity 画像に基づく手法 [5] を用いる。

まず, 視差画像のクラスタリング手法の評価を行う。図 3 に F 値の出現率を示す。どの距離においても, V-disparity 画像に基づく手法に比べ, 提案手法 (等視差領域のクラスタリング) は, 大きな F 値の出現率が高い。これは, 提案手法がより正確に障害物を検出できていることを示す。図 2 に検出結果の例を示す。複数の障害物が等距離に近接して存在する場合, V-disparity 画像に基づく手法は, 複数の障害物を大きな 1 つの障害物として検出してしまう。一方で, 提案手法は, 物体境界を正確に切り分けることができる。

次に, 視差画像の生成手法の評価を行う。表 1 にそれぞれの手法を用いたときの F 値の平均とエントロピーの値を示す。エントロピーが低いと F 値がある値に集中していることを示す。どの距離においても, 提案手法 (POC) は, 平均値が最も大きく, エントロピーが最も小さい。提案手法で生成された視差画像を用いることにより, 正確かつ安定な障害物検出が可能である。

4 まとめ

本稿では, 位相限定相関法と等視差領域のクラスタリングを用いた高精度な障害物検出手法を提案した。評価実験を通して, 提案手法が基線長の短いステレオカ

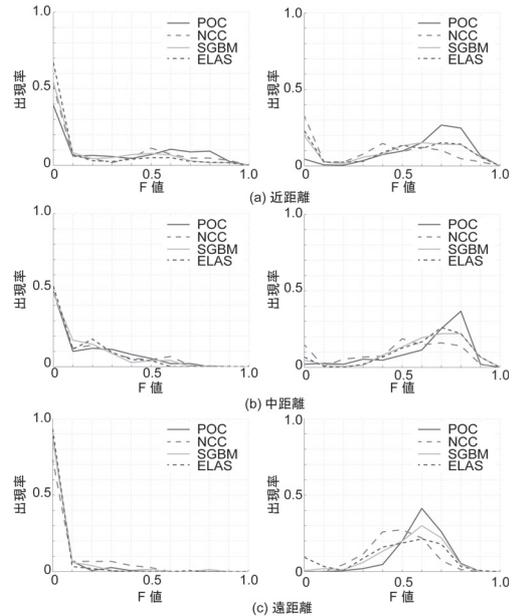


図 3: F 値の出現率 (左: V-disparity, 右: 等視差領域)

表 1: F 値による視差画像の生成手法の評価 (上段: 平均下段: エントロピー)

	SGBM	ELAS	NCC	POC
近距離	0.480	0.460	0.348	0.627
	0.923	0.907	0.866	0.829
中距離	0.610	0.620	0.484	0.639
	0.846	0.824	0.906	0.780
遠距離	0.547	0.478	0.475	0.596
	0.767	0.856	0.728	0.629

メラで撮影した動画から高精度に障害物を検出できることを示した。

参考文献

- [1] 柴原琢磨, 沼徳仁, 長嶋聖, 青木孝文, 中島寛, 小林孝次. 一次元位相限定相関法に基づくステレオ画像の高精度サブピクセル対応付け手法. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J91-D, No. 9, pp. 2343–2356, 2008.
- [2] J. Makhoul, F. Kubala, R. Schwartz, R. Weischedel, et al. Performance measures for information extraction. In *Proceedings of DARPA Broadcast News Workshop*, pp. 249–252, 1999.
- [3] H. Hirschmuller. Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol. 30, No. 2, pp. 328–341, 2008.
- [4] A. Geiger, M. Roser, and R. Urtasun. Efficient large-scale stereo matching. *Proc. Asian Conf. Computer Vision*, pp. 25–38, 2010.
- [5] R. Labayrade, D. Aubert, and J. P. Tarel. Real time obstacle detection in stereovision on non flat road geometry through "V-disparity" representation. *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Vol. 2, pp. 646–651, 2002.