

水平エッジヒストグラムマッチングを用いた 単眼車載カメラ画像中の前方車両検出

藤岡 明紘*・中村 靖**

(平成23年10月28日受理)

Detection Car Ahead Using Horizontal Edge-Histogram in an In-Vehicle Monocular Camera Image

Akihiro FUJIOKA and Yasushi NAKAMURA

(Received Oct. 28, 2011)

Abstract

In recent years, the development of the driving support system for the car, is an important subject. Especially development of the driver assistance system which combines an in-vehicle camera with image processing technology is an interesting subject.

In this paper we described a basic technology for the driver assistance system using in-vehicle monocular camera, which detects the car ahead in the in-vehicle camera image. This paper presents following two algorithms.

- (1) Algorithm to generate search area for the car ahead, based on a virtual running space.
- (2) Algorithm to detect car ahead using template-matching applied to horizontal edge-histogram.

Key Words: template-matching, car detection, image processing

1. はじめに

自動車は量的拡大の時代から安全性向上の時代に入っている。一方、カメラの小型化、低価格化に伴い、ドライブレコーダーなどの車載カメラの普及が進んでおり、そのため今後、車載カメラと画像認識技術を組み合わせた自動車運転支援システムが開発されていくと予想される。

自動車運転支援システムにおいて、前方車両の検知は最も重要な項目のひとつである。これを実現するための従来の研究として、主としてミリ波やレーザーレーダを利用した方法や、ステレオカメラを利用するものがあるが、いくつかの問題を有している。ミリ波やレーザーレーダを利用する方法は、視野角が狭いことがあげられ、ステレオカメラを利用する方法はカメラキャリブレーション精度の維持が難しいことや、2台のカメラを必要とすることでコスト面に

大きく制約がかかる。

そこで筆者は車載カメラで最も普及している単眼車載カメラをベースとした前方車両検出方式を研究している。

筆者らの先行研究では車載カメラ画像中の水平エッジ量と垂直エッジの左右対称性に注目した前方車両検出方式を検討した。この方式では前方車両の真後に近い角度で取得した画像に対しては良好な結果が得られたが、角度が大きくなる場合には垂直エッジの左右対称性が弱まるため、十分な結果が得られない場合が生じた。この問題点を改善するため、本研究では、画像中の車両が存在する場合には、水平エッジの垂直射影値（これを水平エッジヒストグラムと呼ぶ）に特定のパターンが表れることに注目し、テンプレートマッチングを使用して、前方車両を検出する方式を述べる。

以下第2章で探索領域の生成、第3章で車両エッジに着

* 広島工業大学大学院工学系研究科情報システム科学専攻

** 広島工業大学情報学部情報工学部

目した車両検出，第4章で実験による検証について述べる。

2. 探索領域の生成

車載カメラから取り込んだ画像中に多くの車両が存在する場合，自車走行レーン上を走っている車両とそれ以外を判別するために探索領域を生成する。他に探索領域を設けて画像処理範囲を絞り込む事により，処理時間の向上や背景などからの誤認識も減らせるといった効果がある。

2.1 自車走行空間モデル

車載カメラ画像中のどこに探索領域を生成すべきか自車走行空間モデルによって決定する。

水平面を直進している自動車の走行空間は図2.1に示すようなレーンライン（道路白線）で決まる幅（W）と想定される車高から必要となる高さ（H）で決まる矩形を底辺とする四角柱である。



図2.1 自動車の走行空間

この四角柱に図2.2のように座標系（x, y, z）を取る。この座標系がカメラ座標系になるようにカメラを設置し，カメラの画面座標系を（u, v）とする。カメラがピンホールカメラ系である場合には（x, y, z）と（u, v）の値は図2.3のような関係となる。（fはカメラの焦点距離である。）

図2.3の2つの三角形の比例関係から次式（1）が成立する。

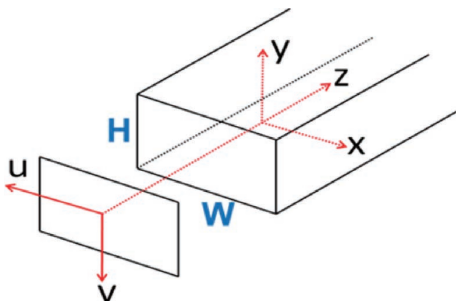


図2.2 走行空間モデル



図2.3 u, v と x, y, z の関係

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{f}{z} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad \dots(1)$$

走行空間の無限遠点（z = ∞）では u, v = 0 となるから，車載カメラ画像上では自車走行空間は四角錐として表される。この四角錐の頂点は消失点と呼ばれる。消失点が画面上の適切な点に来るようにカメラを設置すれば自車の走行空間は車載カメラ画像上では図2.4のように表される。

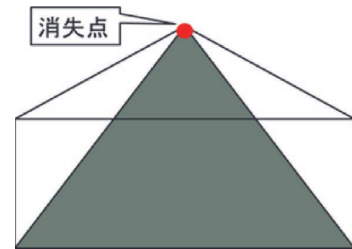


図2.4 カメラ画像中の走行空間

道がカーブしている場合，前方車両もカーブしている方向へ移動して存在している。そこで車体と車輪の角度差が θ であるとすれば，図2.5のように自車走行空間モデルの中心軸を θ 回転することにより，走行方向に適した走行空間モデルを生成する。

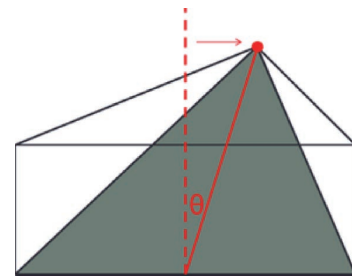


図2.5 消失点の移動

2.2 探索領域の生成方式

自車走行レーン上で前方車両が存在する画像中の領域は，前述の自車走行空間モデルの四角錐に内接する矩形の範囲である。この様な探索領域を生成するやり方としては①カメラに近い側から，徐々に消失点に向かって探索領域を小さくする方法。②消失点側からカメラに向かって探索領域を徐々に大きくする方法。の2方式が考えられる。

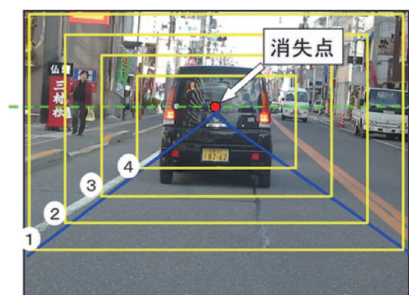


図2.6 探索領域の生成例

②は処理速度面で有利であり、①は認識精度面で有利と考えられる。本研究では①の方式を取った。この概念図を図2.6に示す。

3. 車両エッジに着目した車両検出

前方走行車両をとらえた画像から水平エッジのみを抽出する処理を行い、表れた水平エッジを垂直方向に射影する。ここではこれを水平エッジヒストグラムと呼ぶ。車両が存在する画像には水平エッジが多く含まれているため、図3.1のように車両が存在する場所には集中して水平エッジが表れ、水平エッジヒストグラムが山なりとなる。

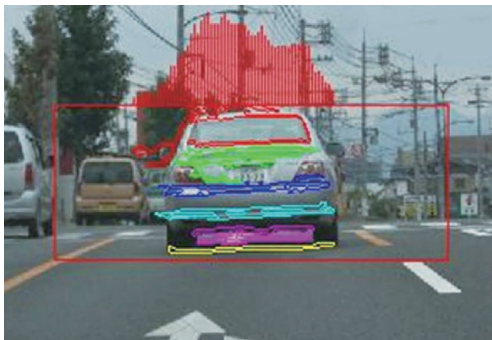


図3.1 赤枠内の水平エッジ垂直射影

このヒストグラムの山なりの形状をテンプレートにし、車載カメラ画像中をスイープさせて探索し、所定の類似度以上になる場所を車両とする。ただし探索領域内である場合のみ前方車両と判定する。これを図3.2に示す。

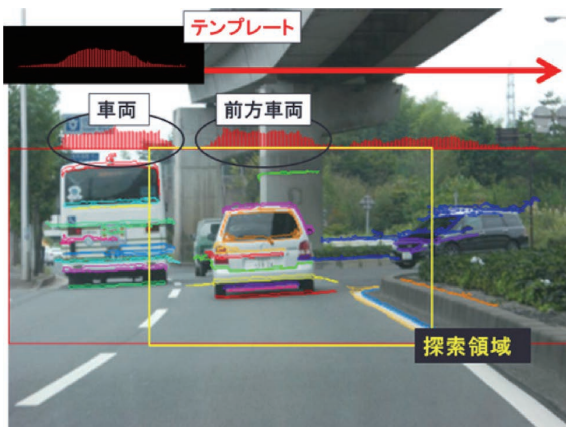


図3.2 テンプレートマッチングによる車両探索法

所定の類似度以上となる場所がない場合にはその探索領域面の距離には車両が存在しないと判断し、探索領域を消失点に近づけ、そこで探索を行う。この場合、テンプレートの大きさを探索領域の大きさに比例させ変更する。以上の処理のフローチャートを図3.3に示す。

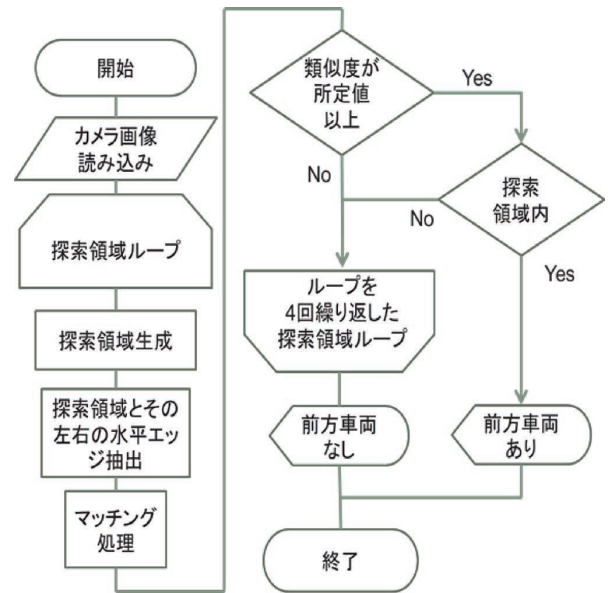


図3.3 前方車両検出処理フロー

3.1 ヒストグラム平均化によるテンプレート作成

自動車の種類や背景の状態により水平エッジヒストグラム形状に差が表れる。そこで本研究では様々な車種の水平エッジヒストグラムを平均化して、テンプレートを作成することとした。テンプレート作成手順は以下となる。

- ①テンプレート作成画像の中から車両範囲をマニュアルによって矩形で指示する。
- ②指示された車両幅に対し、左右50%幅の範囲を含む領域をテンプレート作成領域とする。
- ③テンプレート作成領域の幅を正規化し、n種類の自動車の水平エッジヒストグラムを加算平均化してテンプレートとする。

車両距離約 20 m に正規化したテンプレート作成画像10枚によるテンプレート作成例を図3.4に示す。

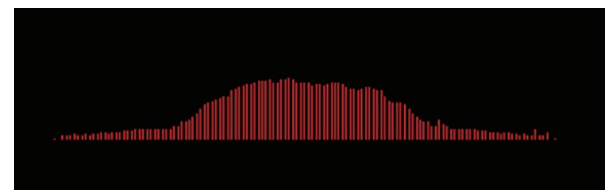


図3.4 平均化テンプレート例

3.2 マッチング手法

テンプレートと探索領域内でのヒストグラムの類似度を求める方法として正規化相関を使う。テンプレートヒストグラムを T_i 、対象ヒストグラムを X_i としたとき類似度 nmcr は次式 (2) で表される。

$$\text{nmcr} = \frac{\sum_1^n T_i \cdot X_i}{\sqrt{\sum_1^n T_i^2} \sqrt{\sum_1^n X_i^2}} \quad \dots (2)$$

ヒストグラムの数値は水平エッジの累積値であるため、すべて正数である。これでは類似度に大きな差が出ないた

め、それぞれのヒストグラムの平均値を0に設定する。テンプレートヒストグラムの平均値を A_T 、対象ヒストグラムの平均値を A_X とするとき類似度計算式は次式 (3) で表される。

$$\text{nmcr} = \frac{\sum_1^n (T_i - A_T) \cdot (X_i - A_X)}{\sqrt{\sum_1^n (T_i - A_T)^2} \sqrt{\sum_1^n (X_i - A_X)^2}} \quad \dots (3)$$

4. 実験による検証

車両が存在する場合と存在しない場合とでは類似度ほどの程度の差が生じるか調べ、車両と判定する基準を明らかにする。実験にはそれぞれ5枚ずつ計10枚の画像を用いた。車両が存在する画像では車間距離が等しくなるよう車幅を正規化し、この車間距離に適したテンプレートを使用した。

以下に車両が存在する場合(画像1~5)、存在しない場合(画像6~10)の画像を示す。探索領域を赤枠で表示し、枠内の水平エッジのヒストグラムを赤枠の上に表示している。

画像1~10のサンプル画像に対し、実験により得た画像中の最高類似度を表1に示す。

車両ありの場合ではどれも高い類似度を示しており、車両なしではどれも低くなっている。画像6, 7では比較的高い類似度になっているのは道路白線や背景の陸橋から多くの水平エッジが発生しているためである。しかし車両特有の山なりの形状にはならないため類似度が車両ありの場合ほど高くなることはなかった。

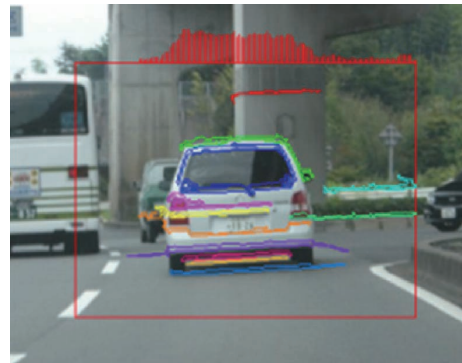
合ほど高くなることはなかった。

実験の結果を散布図にしたものを図4.1に示す。

車両ありと車両なしで分布が上下にはっきり分かれており、本研究では類似度0.60以上で車両と判定することとした。



画像 3



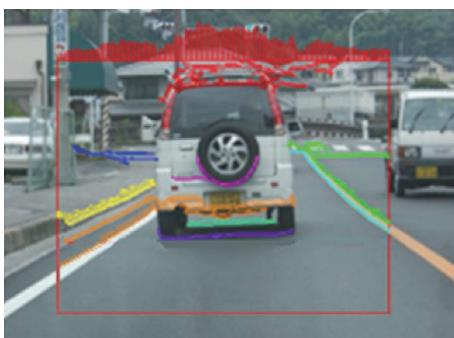
画像 4



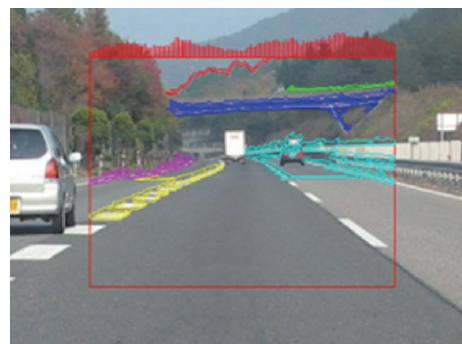
画像 1



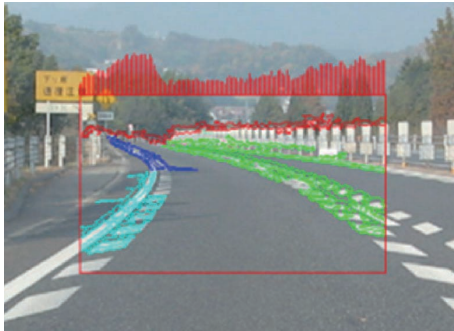
画像 5



画像 2



画像 6



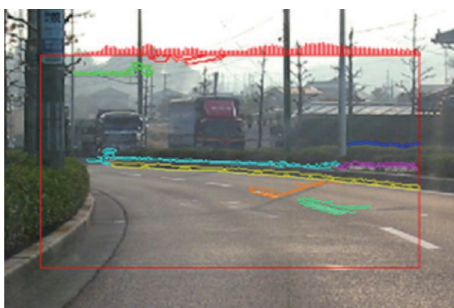
画像 7



画像 8



画像 9



画像10

表 1 類似度確認実験結果

車両あり	最高類似度	車両なし	最高類似度
画像 1	0.83	画像 6	0.38
画像 2	0.7	画像 7	0.32
画像 3	0.65	画像 8	-0.13
画像 4	0.85	画像 9	0.17
画像 5	0.72	画像10	-0.15

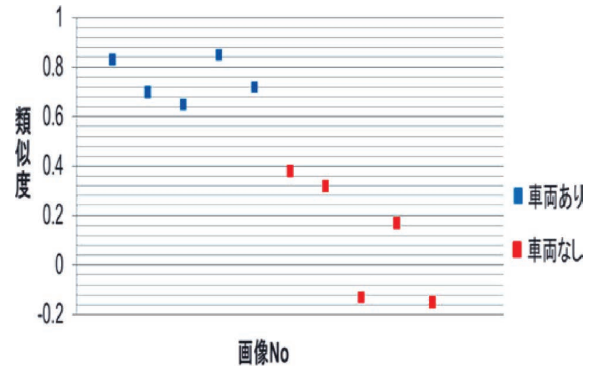


図4.1 実験結果散布図

5. まとめ

本研究では探索領域を生成する方式と車両の水平エッジヒストグラムに注目したテンプレートマッチングによる検出手法を提案し、基礎的な実証実験により原理的な見通しを得られた。

前方車両検出はリアルタイム性が求められるものであり、以下3つの事柄により処理時間の高速化を図った。

- ①探索領域を生成することで前方車両検出範囲を絞り込んだ。
- ②水平エッジの垂直射影値に注目することで計算量を大幅に圧縮した。
- ③それぞれの探索領域のサイズに応じたテンプレートを用意することでテンプレートのサイズを変更しながらマッチング処理をする必要をなくした。

探索領域が手前の時には車間距離が近い前方車両が見つかり、探索領域が消失点に近づくに比例して車間距離が遠い前方車両が見つかるため、本研究で提案する方式ではおおよその車間距離も測定できる。

この前方車両検出手法は車両の水平エッジを利用するものであるため、水平エッジが抽出されにくい夜間などでは利用が制限される。

6. 今後の課題

今後の課題としては以下の3つが挙げられる。

- ①様々な車間距離で車両の水平エッジヒストグラムがどのように変化するかを調べ、探索領域の大きさに応じたテンプレート作成
- ②複数車種のより多数のサンプル画像に基づく実験
- ③前方車両車種判別アルゴリズムの研究

文 献

- [1] 大塚 裕史 他：“エッジペア特徴空間法を用いた車両検知技術の開発” VIEW2005ビジョン技術の実用化ワークショップ講演論文集 pp 160-165, 2005

- [2] 小野口 一則：“複比と消失点に基づく重なり車両の検出” 信学技報 PRMU2007-230, 2008
- [3] 五十部 宏幸, 中村 靖：“ナンバープレートの大きさに着目した単眼車載カメラによる自動車車間距離測定” 広島工業大学紀要 研究編 第42巻 pp 255-260, 2008
- [4] 五十部 宏幸, 中村 靖：“単眼車載カメラ画像を利用した自動車運転支援” 広島工業大学紀要 研究編 第43巻 pp 317-322, 2009
- [5] 岸田, 小川, 手塚, 喜瀬：“車載カメラによる走行環境リスクの学習・認識アルゴリズムの開発（第2報）” 社団法人自動車技術会 学術講演会前刷集 No. 58-09, 2009
- [6] 藤岡 明紘, 寺田 佳和, 栗栖 翔平, 中村 靖：“単眼車載カメラによる前方車両の検出” 広島工業大学紀要 研究編 第45巻 pp 259-262, 2011