

照明条件に依存しない前方車両検出に関する一検討

南雲 聖一[†] 岡本 教佳[†]

[†] 関東学院大学 大学院工学研究科

〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東 1-50-1

E-mail: † {m0242005, okamoto}@kanto-gakuin.ac.jp

あらまし 本論文では車載カメラを用いた照明条件に依存しない前方車両検出についての検討を行う。前方に向けたビデオカメラから得られる動画像において、背景の領域と前方車両の領域はフレーム間で異なった変化をする。その変化を検出するために画像のテクスチャ情報を用いた。照明条件が変化してもテクスチャは変化しないことを利用し、フレーム間で類似したテクスチャの範囲を抽出することによって、照明条件に依存しない抽出を可能にした。

キーワード ITS, 車載カメラ, 車両抽出, 前方車両

A Study on a Robust Detection of a Front Vehicle for Brightness Condition

Seiichi NAGUMO[†] Noriyoshi OKAMOTO[†]

[†] Graduate School of Engineering, Kanto-gakuin University

1-50-1 Mutuura-higashi, Kanazawa-ku, Yokohama-shi, 236-8501, Japan

E-mail: † {m0242005, okamoto}@kanto-gakuin.ac.jp

Abstract In this paper, the robust detection method of a front vehicle for brightness condition, which used a camera mounted on the front of a vehicle, is discussed. In road image information obtained from front-mounted camera, the detection method of a background and a front vehicle region are carried out using the relations between frames. The basic idea of the proposed method is that the texture information of the same object in different frames is not changed on inter-frame. In order to extract robust front vehicles to change of brightness conditions, even if brightness conditions changed, the texture information aimed at improvement in the extraction accuracy by using extracting the range of a texture similar between frames. The experimental results show the usefulness of the proposed method.

Keyword ITS, a camera mounted on the front of a vehicle, extraction of a vehicle area, forward vehicles

1. はじめに

自動車は人間にとって現代社会における最も重要な交通手段の一つであり、欠かすことはできない。その一方で減少傾向とはいえ毎年100万件近くの交通事故が発生し、8000人以上の人命が交通事故で失われており、現在、道路交通の安全性のみならず、輸送効率、快適性の向上を実現するためITSの早急な実用化が求められている。

このような背景の下で道路交通の支援に関する研究の一環として車両からの画像センサを用いた多くの研究が盛んに行われている。前方車両の位置検出に関する研究もそのうちのひとつでありこれを実施するために画像処理を用いる手法が既に提案されている^{[1][2][3]}。これらの研究において車載カメラから前方車両の位置を検出することを想定した場合、屋外の照明条件は入力画像に大きく影響を与えることが問題とな

る。また、晴天の日中と夜間とでは光量の違いが大きく、入力機器を同じ設定で動作させることは現実的ではない。いかなる場合でも安定して車両検出をするためには入力画像の照明条件に依存しない手法が必要である。

本論文では車載カメラを用いた照明条件に依存しない前方車両検出についての検討を行う。昼間か夜間かという照明条件に関する情報を得るために、タイムテーブルなどの、事前に情報を用意しておくというアプローチもあるが、本研究は刻々と変化する細かい道路状況に対応するためにリアルタイムで入力画像による状況認識を行うという考えに基づいている。まず、前方に向けたビデオカメラから得られる動画像において、照明条件の変化にロバストな前方車両の抽出を行うために、照明条件が変化してもテクスチャは変化しないことに着目し、動画像の前後のフレーム間で類似する輝度変化をした部分を探索し車両として抽出する。照明条件の不良な場所や天候の急激な変化、ビデオカメラのちらつきなどは、単純な輝度値の差分では敏感に検出してしまうが、輝度変化の特徴を求めることによりテクスチャの模様が変化していなければ同じように検出することができる。この考え方は既に報告された室内での物体を検出することを目的としたRRC(Radial Reach Correlation)^[4]に基づくものであり、本報告ではこの方法を改良し前方車両抽出に適用している。また本手法では領域の拡大や縮小にも強い。さらにリアルタイムでの適用を考えると、フレーム間の相関を利用せず動画を連続した静止画の集合体として見て車両抽出を行う手法^[5]と比べ、前フレームにおいてどこに車両領域があったかという情報を利用することにより検索範囲が狭まり計算コストの向上を見込むことができる。

2. 撮影条件

本研究の実験で使用される入力画像は、前方を向き水平に乗用車に設置されたデジタルビデオカメラ Sony VX-2000 から撮影した動画像を用いている。解像度 320×240[pixel], 30[frame/sec]の RGB 各 8[bit]で表された画像を本学周辺の周回ルートで撮影を行い、撮影時に車が前方車両の後ろを走行しているとき以外を除いた中から 40 シーン 2400 フレームを処理の対象とした。撮影時刻は 3 月の晴れの日、午後 5 時～6 時 15 分の間に撮影を行った。図 1 に撮影した入力画像の一例を示す。

3. 処理手順

図 2 において本手法の処理手順を示す。まず、本手法では動画像の第 1 フレームに対して、車両の特徴で

ある水平成分とテイルランプの抽出を行い前方車両を特定する。昼間では水平成分による抽出が有効であり、夜間ではテイルランプによる抽出が有効であることがわかっている^[6]。この手法で第 1 フレームでの前方車両の領域が特定できた後は以降のフレームにおいて同一のテクスチャを持つ領域を抽出する。テクスチャは天候の急な曇りやビデオカメラ入力 of のちらつきなど、照明条件の変化に対して変化しにくいので、これによって前方車両の抽出を行う。

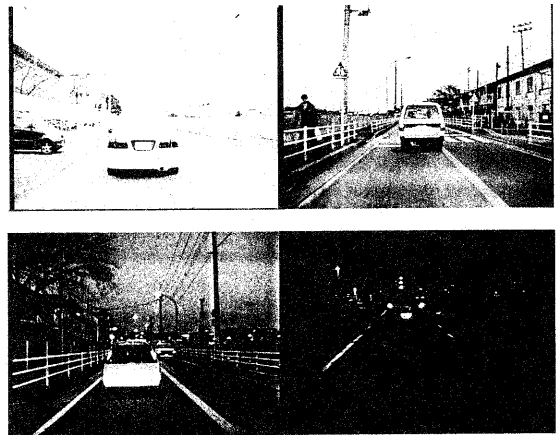


図 1 入力画像の一例

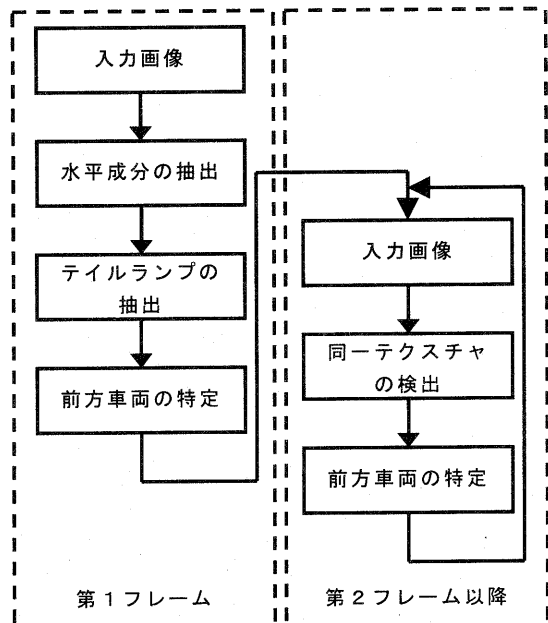


図 2 処理手順

4. 前方車両の抽出

4.1 第1フレームにおける抽出

4.1.1 水平成分の抽出

昼間の画像に対する有効な処理として、本研究では画像の水平成分から車両領域の抽出を行う^[7]。入力画像を二値化し、エッジ抽出を行った後の画像には車両の水平成分が多く含まれる。この水平成分を画像中を走査し抽出する。図3にこの手法により抽出した前方処理画像を示す。

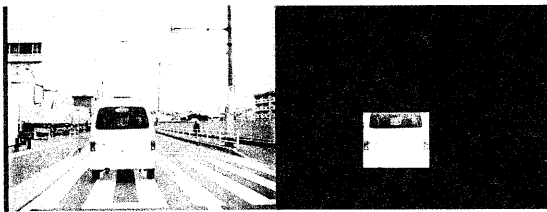


図3 水平成分による前方車両の抽出

4.1.2 テイルランプの抽出

夜間の車両はテイルランプが常に点灯していることから、テイルランプを抽出することは夜間の画像における車両抽出に有効な処理である。テイルランプは赤味成分を多く含んでいることから、YCrCb表色系のCr成分を用いて抽出を行う^[8]。処理範囲内の画像に対してCrが一定値以上となる部分を抽出し、ランプ候補領域を得る。候補領域を基準にランプの形状を正規化し、水平線上に並んでいる最も面積の大きな2つの領域を求めてこれらの領域を前方車両のテイルランプであると判定する。この処理により車両領域の位置が判別できる。図4にこの手法を行って抽出した前方処理画像を示す。

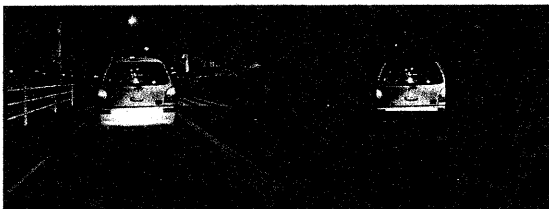


図4 テイルランプによる前方車両の抽出

4.1.3 車両領域の検出

以上の手法を用いて得られた車両の特徴を用いて、前方にいる車両の領域を矩形領域として検出する。この領域を基準にしてテクスチャの特徴を抽出する。

4.1.4 テクスチャ特徴の抽出

以上で1フレームの静止画像から前方車両が抽出できる。得られた車両領域を基準に、第2フレーム以降からはフレーム間での相関を用いて前方車両を抽出するため、車両領域内のテクスチャの特徴を抽出する。

まず、テクスチャの特徴を得るために輝度値の走査を行う。車両領域の重心の座標 P_0 から上下斜め6方向にリーチを伸ばし、輝度値を探索する(図5)。リーチに沿って走査し輝度値があらかじめ決めてあるしきい値 T 以上に変化した場合は、その画素の座標を新たな始点 P_1 として走査していき、その輝度から T 以上変化する画素を探索する(図6)。こうして車両領域として抽出された範囲全体の走査を完了し、最後の始点 P_N までを得る。こうして求めた輝度変化座標の配列 P_n を用い、類似した輝度がどれだけ続いたかを保持する配列 r_n として記録する。 r_n は類似した輝度の連続した長さとし、以下のように定義する。

$$r_n = P_{n+1} - P_n \quad (1)$$

ただし $0 \leq n < N$, N : n の要素数, チェス盤距離

この r_n の、図5に示す6方向($k=0,1,\dots,5$)全てに対しての $r_{k,n}$ を求める。車両は画像上において水平成分を多く持っているという特性があり、垂直方向への走査の開始点が左右に揺らいでもほぼ同じテクスチャ特徴を抽出できるが、水平方向については走査の開始点の上下の揺らぎによって、得られるテクスチャ特徴が全く変わってしまうという問題があるため、水平方向への走査を除いた6方向の走査を行い $r_{k,n}$ を求めている。このようにして求めた $r_{k,n}$ を車両領域のテクスチャ特徴として第2フレーム以降における前方車両の抽出に用いる。

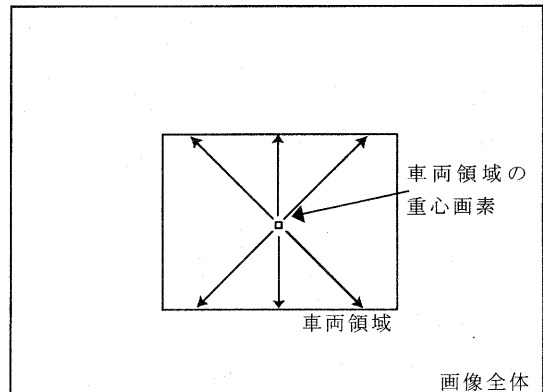


図5 走査方向

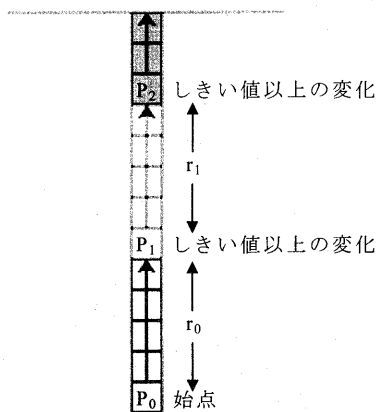


図6 照明条件にロバストな輝度変化の検出

4.2 第2フレーム以降における抽出

第1フレームで抽出された前方車両領域を基準として、第2フレーム以降からはフレーム間でのテクスチャの相関を用いて前方車両抽出を継続する。

4.2.1 テクスチャ特徴の検索

前節で求めたテクスチャ特徴 $r_{k,n}$ の比較により車両領域を抽出するため、第2フレーム以降においての入力画像についても同様に画素を6方向に走査し輝度変化の特徴を抽出する。前フレームの車両領域の重心 P_0 を始点として現フレーム画像において輝度を走査していき配列 $r'_{k,n}$ を求める。ただし走査を終了する条件は $n=N$ となった時 (N :前フレームの $r_{k,n}$ の n の要素数) とする。

4.2.2 テクスチャ特徴を用いた車両領域検出

前フレームで得た $r_{k,n}$ を基準にして現フレームで得た $r'_{k,n}$ から前方車両を検出する。 $r'_{k,n}$ は $r_{k,n}$ と類似したテクスチャがどの位置まであるかという情報を保持している。ここで、

$$R_k = \sum_n r'_{k,n} \quad (2)$$

で与えられるリーチ R_k によって、方向 k に走査したときには、車両領域の外まで何[pixel]のリーチを伸ばしたかということがわかる。各リーチの先端の位置を外接する矩形で囲むことによって現フレームでの車両領域を検出できる。次フレームでは現フレームでの $r'_{k,n}$ を基準に、同様の方法で $r'_{k,n}$ を得て前方車両を抽出する。以降も同様にして連続して抽出処理を行う。

このテクスチャの類似性を評価する手法は画素を走査する際にしきい値 T を用いているため、しきい値

T より小さい輝度値の変動を無視して大きく輝度値が変動した部分だけ検出することができる。 T の値についてはあらかじめ入力画像を撮影する機材のノイズの入る量を調べておくことで有効な T を設定することができる。また、輝度の変化量ではなく変化したことにのみ着目するので、フレーム間における入力画像の全体的な輝度の変化を感知せずにテクスチャを安定して抽出することができる。以上の点により照明条件に対してロバストに輝度変化を抽出することができる^[4]。本研究では車両領域の重心を走査の基点として類似テクスチャの検索をしているので、前方車両と自車両との距離が変化し入力画像に映る車両の画像が拡大したり縮小したとしても、放射状に6種類あるリーチ R_k の長さが前フレームに比べて揃って同じ割合で増加あるいは減少した場合、前方車両の領域が大きくあるいは小さくなった、と判断することができる。よって、前方車両が近づいたか遠のいたかを認識ことができ、追突を想定した危険判別など利用できるものと考えられる。

5. 危険予測

前方車両が自車両に接近してくる場合、抽出領域は次第に大きくなる。このような危険と認められるケースを検出し危険予測を行うことについて検討を行う。手法としては車両領域として抽出された領域の面積の変化によって危険予測を行う。抽出結果が著しく間違っていたフレームの影響を最小限におさえるため、車両領域の面積を3フレームごとに組にして、その中で2番目に面積の大きなものをその組の中の車両面積とする。それを3回求めた時点で、次第に面積が大きくなっている場合は危険であると予測を行える^[9]。

6. 実験結果

以上の手法により実験を行った。テクスチャ特徴を得る時のしきい値は $T=7$ に設定し、あらかじめ撮影した動画をオフラインで処理をかけた毎フレームの処理時間を計った。本実験に使用したコンピュータのCPUはPentium4 1.6GHzである。処理時間の平均は以下のとおりである。第1フレームに関しては撮影した40シーンの各第1フレームの処理にかかった時間の平均、第2フレーム以降に関してはそれ以外2360フレームの処理時間の平均を求めた。

表1 処理時間の比較

第1フレームの 処理時間の平均 [s]	第2フレームの 処理時間の平均 [s]
4.45	0.11

第1フレームに対する処理時間は非常に時間がかかっているのに対し、第2フレーム以降ではおよそ9[fps]の計算可能な処理であることがわかった。

また、前方車両抽出の様子は図7に示す。式(2)のリーチ R_k を画像上に描画したものが右側の画像になる。次に R_k の長さの検討を行なった。今回は1フレームあたり6本のリーチが2360フレーム分あり、数が膨大なので人間の目視による検証は困難なため、前フレームと長さの差が一定値以下に収まったものを抽出成功とした。その結果を以下の表2に示す。

表2 リーチ R_k の抽出率

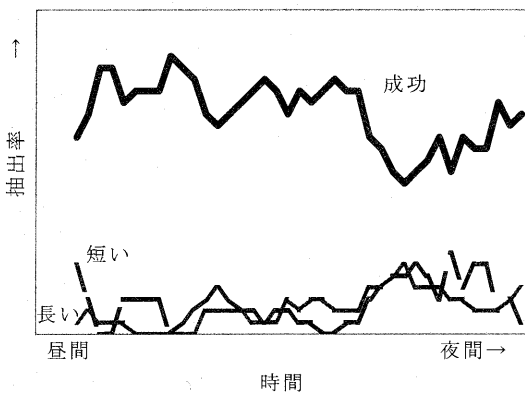
短い	成功	長い	合計
[本]	[本]	[本]	[本]
1593	11446	1121	14160
短い	成功率	長い	合計
[%]	[%]	[%]	[%]
11.3	80.8	7.9	100.0

リーチ1本ごとに対する抽出率は8割を超える結果となった。

図8にリーチの抽出失敗例を示す。(1)のような異常に長いリーチは一定の割合で現れた。(2)では上方向へ伸びるリーチが短く、3本失敗している様子がわかる。これは前方車両の窓ガラスから見える向こう側の景色が変化するためにテクスチャが変化し短く抽出されてしまったものだと考えられる。

次に、昼間から薄暮時をとおして夜間に至るまでの時間に対してのリーチ R_k の抽出率をグラフにしたものを表3に示す。

表3 時間に対する R_k の抽出率

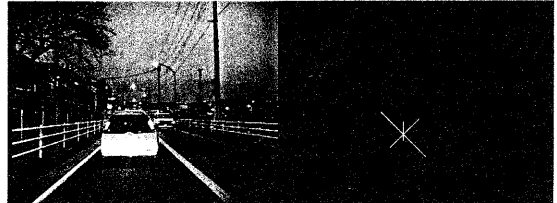


薄暮時に若干抽出率が下がっているが、よい抽出結果が得られた。これらのデータから、1、2本のリーチの誤抽出があったとしても残りのリーチによって補う

ことが可能であると思われる。



(1) 昼間時の一例

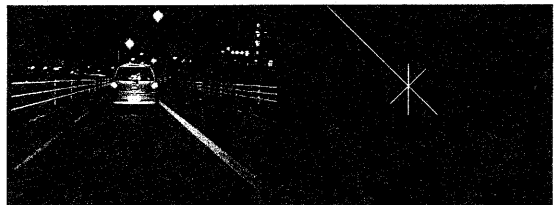


(2) 薄暮時の一例

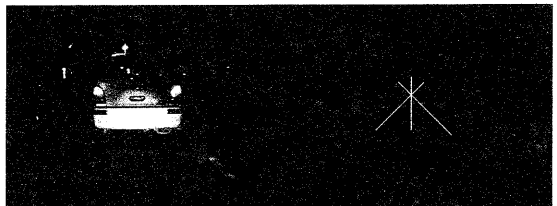


(3) 夜間の一例

図7 リーチ R_k を用いた領域検出例



(1) 抽出失敗例1



(2) 抽出失敗例2

図8 抽出失敗例

7. むすび

本研究では動画像上でテクスチャ特徴を使用し車

両抽出を行った。車両抽出に関しては比較的良好な結果を得ることができ、本手法の有効性を示すことができたといえる。ただし、走査の開始点、リーチの走査方向の設定について改善の余地はあると思われる。また、一度誤抽出した時の復旧処理も検討課題である。処理時間に関しては短時間の計算ですみ、リアルタイムでの処理も期待できる。今後の課題として上記に示したことの他に、トンネル、雨天時、その他の条件での検証も必要であると考ええる。

[参考文献]

- [1] 古川, 岡田, 谷口, 小野口, “車載用 LSI を用いた車両周辺監視システム,” 第 9 回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp.227-232, Jun. 2003.
- [2] 原田, 上條, 坂内, “リアルタイム交通事象検出システム,” 第 9 回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp.233-238, Jun. 2003.
- [3] 埜, 十川, “自動車前方監視用のステレオ画像認識装置の開発,” 信学技報, PRMU2002-90, pp.37-42, Sep. 2001.
- [4] 佐藤, 金子, 丹羽, 山本, “Radial Reach Filter (RRF) によるロバストな物体検出,” 信学論 (D-II), vol.J86-D-II, no.5, pp.616-624, May 2003.
- [5] 長谷川, 岡本, “走行車線における人と車両の抽出に関する一検討,” 信学技報, ITS2001-22, pp.31-36, Sep. 2001.
- [6] Hiroaki. Hasegawa, Seiichi. Nagumo, Noriyoshi. Okamoto, “Extraction of Front Vehicles By Front-Mounted Camera Using Brightness Information,” IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp.512-, Montréal, Canada, May 2003.
- [7] 岡田, 小野口, “低速車間制御のための単眼画像処理システム,” 信学技報, PRMU2002-140, pp.69-74, Dec.2002.
- [8] 長谷川, 岡本, “夜間走行における前方車両抽出に関する検討,” 信学技報, ITS2002-25, pp.23-28, Sep.2002.
- [9] 長谷川, 岡本, “フレーム間の位置情報に基づく接近車両の抽出,” 信学技報, ITS2001-52 IE2001-191, pp.7-12, Jan. 2002