車両後方画像からの危険車両検出

非会員 安増 拓見* 正員 小沢 慎治*

Detection of Dangerous Vehicles from Rear Scene

Takumi Yasumasu*, Non-member, Shinji Ozawa*, Member

An assistance of safe driving is one of the most remarkable field in ITS. In this paper, a system for detecting dangerous vehicles from rear scene using image processing is proposed. The system is very useful for avoiding collisions which occur when changing lanes, or warning following drivers of the sudden collision possibility. The system is comprised of three image processing parts; the Lane Detection, the Vehicle Detection, the Vehicle Observation. Especially, in the Vehicle Detection, a new method for detecting only front faces of following vehicles without their sides is proposed. It is achieved because boundary lines between the vehicle front and the side are detected stably by Area Over-Division and Area Integrate. The detection of boundary lines is treated as the detection of dividing lines which divide into two areas. In the system, the problem of detecting vehicles is divided into many simple steps, and in comparison to conventional researches that try to search correct things, incorrect things are searched and only those are removed on each step. Therefore, only correct front faces remain after many steps. This system has already been experimented as a real time system in-vehicle.

キーワード：ITS，運転支援，車線検出，車両検出，車両監視，画像処理

Keywords: ITS, driver assistance, lane detection, vehicle detection, vehicle observation, image processing

1. はじめに

近年，交通量の増大に伴う交通事故の増大が現代社会の深刻な問題となっている。その負の要因を解決すべく ITS (Intelligent transport systems) の分野では様々な研究が行われている。その中でも運転支援の分野は，事故を未然に防ぐという意味で特に注目されている分野である。

この分野の最終的な目標は自動走行にあるが，その前段階として走行環境の認知⁽¹⁾，危険事象の判断⁽²⁾⁽³⁾，危険事象の回避⁽⁴⁾がある。これらの前段階においても危険事象の判断までは既に実用化されている研究例もあるが，様々な場面において常に 100%信頼できるものではない為，その結果に依存する危険事象の回避までは難しいのが現状である。その信頼性，ロバスト性の向上が期待されている。

危険事象の判断は道路インフラと車載センサーの片方または両方の情報を用いて実現される⁽⁵⁾。障害物や周囲の車

両の認識がその主である。道路インフラはその設置場所に依存したシステムであり大変信頼性は高いが，そのコストが問題であり全道路への設置は不可能だと考えられる。一方，車載センサーはコストの面で現実的ではあるが，その信頼性が未だ十分ではなく，様々な場面对応可能な信頼性の高いシステムが要求されている。

本稿では，車載センサーとして単眼カメラを用いた，また，閾値の影響を極力削減した信頼性の高い危険車両検出システムを提案する。対象領域は，運転中に注意が散漫となってしまう車両後方やドライバーの死角となる斜め後方とする。また，実際に車載しての実験を行い本システムの有用性についても確認する。特に，車両検出のフェーズにおいては，従来法⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾では車両前面（背面）と側面とを分離せずに車両全体を検出していたのに対し，本稿では後続車両の車両前面部分のみの検出に成功しており，その後の車両追跡や相対距離，相対位置計測等の精度向上につながると思われる。

2. 本システムの位置付け

2.1 本システムの目的 図 1 に示すような事故を想定し，車線変更時に起こり得る衝突事故や後方からの突然の衝突を早期に予測し，ドライバーに警告を促すシステ

* 慶應義塾大学理工学部情報工学科小沢佐藤研究室

〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14

Department of Information & Computer Science, Faculty of Science & Technology, Keio University

Ozawa Sato Labs.

3-14 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8522

図 1 想定される事故パターン

Fig. 1. Probable collision patterns.

ムの完成を目的とする。車両後方に路面に対して平行に設置した単眼カメラより動画像列を取得し、後続車両を検出、追跡、監視する事により危険車両を判定する。

2・2 従来法との比較 車載センサーを用いた車両検出、障害物検出の研究は古くから行われている。それらは、画像を用いたものと各種レーダ、車々間通信を用いたもの等に分けられ、またその対象領域から車両前方を対象としたものと車両後方を対象としたものに大別できる。

車両前方を対象とした研究は追尾走行と障害物検出の為のものであり、自車両が走行している車線上において自車両から一番近い前方車両のみの検出だけを行えば良い。車両後方を対象としたものではドライバーの死角となる領域に限定して車両の存在の判定だけを行うものが多く、その車両の動向までを監視しているものは少ない。

今回は後方車両を遠方で早期に検出し、追跡、監視を行いその動向から危険車両の判定までを行う。複数レーン上において、同時に複数台の車両を検出する事にも対応し、後続車両が車線変更時にも安定した検出、追跡が可能である。また、従来法では困難であった車両前面領域のみの安定した検出にも成功している。この事により、後続車両の正確な位置を把握でき、正確な距離計測、危険判定が可能となる。車載センサーとしては、実用化を考えた時のコストの面からカメラ、特にバックモニター等の併用が可能な単眼カメラを用いた。また、カメラは車両検出の目的以外においても利用可能な様々な情報も同時に取得できるという利点もある。

3. システムの概要

本システムは車両後方に設置した単眼カメラによって撮影された動画像列をリアルタイムで処理し、運転支援を行う(図2参照)。次章より画像処理の各部分について詳しく述べる。

4. 車線検出

入力画像より2本のレーンマーカーを認識し、車線幅から更にもう1本のレーンマーカー位置を推定する事により、走行、追越レーンの2レーンを検出する。後続車両の早期検出、追跡監視を目的とする本システムにおいて、走行追越レーンを遠方まで安定して検出する事が求められる。

まず、後の処理を容易にする為、入力画像よりレーンマーカーと思われる領域のみを抽出する。レーンマーカーはそ

図 2 本システムの流れ

Fig. 2. The system flow.

の幅が決まっており、道路領域との境界では急激に明度が変化する。また、その明度の勾配は上りと下りが対になって現れる。それらの特徴からレーンマーカーを抽出する。

その後、レーンマーカーを画像下部より追跡する事により道路形状を認識する。しかし、画像処理による認識には解像度の問題から限界がある。画像処理によっては認識が困難な遠方領域の道路形状に対しては、過去の情報を活かし、現在の形状を予測する事によってその形状の認識を試みる。

4・1 車線予測 画像処理による道路形状の認識には解像度の問題から限界があり、自車両からの距離が60m程度までしか安定した認識ができない。そこで、画像処理によっては認識が困難な遠方領域の道路形状に対しては、それまで認識されていた過去の道路形状を基に、現在の形状を予測する。

ここで、僅かな時間では自車両が一定速度で直進していると仮定する。自車両が1 frame間で t_m 進むとすれば、現在の n frame目の道路形状は、 $n+1$ frame目では t_m 後方に進んだ位置の形状となり、 $n+2$ frame目では $t+t_m$ 後方に進んだ位置での形状となる。画像処理では直線として認識された車線も、もしそれ以前にカーブが認識されていれば、遠方領域の形状はカーブと予測される。

車両後方画像においては車線が画像下部から消失点に向かって進んで行くという特徴を活かす。過去の形状を基にした遠方領域の形状予測を行い、消失点付近までの安定した車線の認識に成功する。

5. 車両検出

複数レーン上にて同時に複数台の後続車両の早期検出を試みる。特に、後続車両の車両前面部分のみを正確な位置に検出する。図3に車両検出の流れを示す。

まず入力画像よりレーンマーカー領域の除去を行い、レーンマーカーによるノイズの影響をなくし、後続車両が車線変更時にも安定した後続車両の検出を可能とする。そのレーンマーカー除去済画像上において、後続車両の車両前面の検出を行う。

図 3 車両検出の流れ

Fig. 3. The vehicle detection flow.

車両前面の検出はそれを探索する車両探索領域を限定 5・1 する事から始まる。その後、その車両探索領域内より車両前面、車両側面、背景、路面等の境界線の検出を行う。この境界線は領域を分離する分割線と考える事ができる。そこで、まず領域の過分割 5・2 を行い、その後に領域統合 5・3 する事によって、安定した分割線、つまり境界線の検出に成功する。それらの境界線により分けられた領域が車両前面か否かの判定 5・4 を行い、また、最後に車両下部を補正し、車両前面だけを検出する。

本手法は、正しいものを検出しようとする従来法に対して、明らかに異なるものを検出し排除するというコンセプトの下に設計されている。複雑な要因が絡み合った問題を簡単な問題に分離し、幾重ものふるいにかけ、誤ったものを徐々に排除して行く事により、最終的に正解だけを残す。また、単純な問題に分離する事は、閾値の影響を極力削減した、ロバストなシステムの実現につながる。それぞれの単純な問題においては、要因と結果との相関が非常に強く、妥当な閾値の設定が可能となるからである。

車両検出において、車両領域とその左右の境界線の検出を同時に行おうとする従来法では、車両前面と側面の分離が困難であり、車両全体が検出される。車両前面と側面の境界に比べ、車両側面と背景等の境界の方に明確な明度やテクスチャの変化があり、分離され易いからである。これに対し、車両領域の判定を後で行い、まず境界線の検出を行う本手法では、境界線の検出だけに特化したアルゴリズムを適用できる為、車両前面と側面の境界に生じる微弱な境界線を検出できる。その為、車両前面のみの安定した検出が可能となる。

5・1 車両探索領域の限定 後続車両と路面とは明度の急激な変化が生じる。複数レーン上において、画像下部より消失点に向かって水平エッジを水平方向に加算して行き、その値が大きくなる位置を車両下部として認識し、車両後方領域の下部とする。また、その左右は走行追越レーンまでとし、上部は消失線位置とする。この車両探索領域は幾つも検出される場合がある。

5・2 領域の過分割 境界線の検出を領域を分離する分割線と考え、車両探索領域を幾つもの小領域に分ける分割線を検出する。

図 4 領域の過分割例

Fig. 4. The cexample of area over-division.

図 5 領域間でのクラス間分散値

Fig. 5. Inter-class dispersion between areas.

車両探索領域内で垂直エッジを垂直方向に加算して行き、その領域内において最大値の 10%以上の値をもつ部分全てで分割する。ここで、10%は閾値として十分低いものである。この事により数十本の分割線が検出される。これらの分割線は、それが何と何を分割しているのかは分からないが、少なくともそれらの中には車両前面とその他の領域との分割線は必ず含まれている（図 4 参照）。

5・3 領域統合 領域の過分割によって、数十もの小領域に分けられた車両探索領域の隣り合う領域を比較して行き、酷似した特徴を持つ領域同士を一つの領域として統合する。この統合を繰り返す事により、車両前面同士、車両側面同士、背景同士等、同じ特徴を持つ領域が統合され、最終的には幾つかのまとまった領域となる。

この隣り合う領域間の比較は主にクラス間分散値によって行う（式 1 参照）。

$$\sigma_B^2 = \frac{n_1(\mu_1 - \mu_T)^2 + n_2(\mu_2 - \mu_T)^2}{n_1 + n_2} \dots\dots\dots(1)$$

(n :データ数, μ :平均値, μ_T :全平均値)

それぞれの領域を一つのクラスとして捉え、そのクラス間の特徴の差を計測する。この値が小さくなると、それらの領域の特徴が似ていると判断され一つの領域として統合される。実際には、クラス間分散の比較は主に各領域の同じ水平位置同士での比較となる（図 5 参照）。異なる特徴を持つ領域間の分割線では、クラス間分散値が高くなってい

図 6 車両前面の検出

Fig.6. Front face detection.

るのが分かる。

この処理により、車両前面同士、側面同士、背景同士等
は一つの領域として統合され、幾つかのまとまった領域だ
けが残る。

5・4 車両前面の検出 これまでのフェーズにおい
て、その精度の向上の為、車両の判定はできていない。こ
こで、幾つかの小領域に分離された車両探索領域において、
それぞれの領域が車両前面か否かを判定する。

本システムは車両前面には強い水平エッジが多く現れる
という点に注目し、水平エッジに基づいて車両前面の判定
をする（図 6 参照）。背景や路面、また車両側面には強い水
平エッジが現れず、様々な方向のエッジが現れる。

6. 車両監視

後続車両を追跡、監視する事により危険な後続車両のみ
を検出し、ドライバーに警告を促す。

検出された車両前面に対して、信頼度の評価を行い、何
フレームにも渡り検出され続ける信頼できる領域に対して
はフレーム間での追跡に移る。車両追跡では車両前面の最
も特徴的な領域のみを正規化相関を用いて追跡する。その
追跡結果より、相対位置、相対距離、相対速度を求め、危
険車両であるか否かの判断を行う。危険車両が検出され
るとドライバーに警告を促す。

6・1 信頼度評価 毎フレーム検出される車両前面
領域において、その信頼度の評価を行う。何フレームにも
わたってほぼ同じ位置、または徐々に自車両に接近する領
域の信頼度を上げて行き、信頼度が一定以上になった領域
のみを真の車両領域として追跡処理に移る。この信頼度評
価は検出車両位置を俯瞰化した後に行う。

この処理を行う事により、快晴の日等に頻繁に起こる影
等による車両前面検出の誤検出をキャンセルする事が可能
となる。

6・2 車両追跡 信頼度評価において、信頼できる車
両領域として評価された領域はフレーム間で追跡される。

車両領域の大小に影響されない一定の計算量での追跡を
実現する為、車両領域内からある大きさの最も特徴的な領
域を検出し、その領域のみを、安定した追跡アルゴリズムと
して一般的な正規化相関によって追跡して行く（式 2 参照）。

表 1 実験環境

Table 1. An experiment condition.

PC	Pentium4-2.0GHz
Input Image Size	720 × 360
Camera Mode	Progressive Mode
Frame rate	15 fps
Development Environment	Visual C++, SDK

表 2 車両前面の検出精度

Table 2. An accuracy of front faces detection.

Correct (detection at correct position)	Almost (Incorrect of boundary lines)	Incorrect (False Positive, Negative)
94.7%	2.8%	2.5%

Tokyo ↔ Atsugi. Cloudy. Within 60 m.

$$r_{cc} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (f_n - \bar{f})(g_n - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (f_n - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (g_n - \bar{g})^2}} \dots\dots\dots (2)$$

6・3 危険車両判定 後続車両の追跡結果より、自車
両からの相対位置、相対距離、相対速度を用いる。カメラ
が路面に平行であると仮定し、カメラの設置高さが分かれば、
逆射影変換により画像上での位置から相対距離が計測
できる。相対距離のフレーム間での変化から相対速度は計
測される。相対距離と相対速度の関係から危険車両か否か
を判定し、走行車線と追越車線に分けて危険状況を判断し
ドライバーに警告する。

7. 実 験

本システムの有用性を確認する為、予めビットマップ画
像にしたものを読み込み処理するオフライン実験、約 3 時
間 30 分ものビデオ入力に対してのリアルタイム実験、ま
た東名川崎御殿場間上下線での車載実験を行った。

7・1 実験環境 表 1 のような環境においてリアル
タイム実験を行った。車載実験においては、PentiumM-
1.0GHz のノート PC を用いて実験を行った。

7・2 車線検出結果 車線検出結果を図 7 に示す。様々
なシーンにおいて安定した車線検出に成功した。

7・3 車両検出結果 約 30,000 フレームに対して行っ
たオフライン実験の車両前面検出の精度を表 2 に示す。ま
た、実験結果を図 8 に示す。このように車両前面のみの正
確な位置での安定した検出に成功した。また、複数レーン
上より複数台を同時に、遠方の位置で早期検出に成功した。

7・4 車両追跡及びドライバーへの警告結果 車両の
追跡結果及びその結果に基づいたドライバーへの警告の様
子を図 9 に示す。後続車両が十分に安全な場合は青色で安
全を、走行レーンにおいて危険車両が見つければ、黄色で
注意、赤色で警告を、追越レーンにおいて見つければ、緑
色で車線変更危険を表す。

図 7 車線検出結果

Fig. 7. Results of lane detection.

図 8 車両前面の検出結果

Fig. 8. Results of vehicle front detection.

図 9 車両追跡及びドライバーへの警告結果

Fig. 9. Results of vehicle tracking and warning for driver.

表 3 後続車両の監視精度

Table 3. An accuracy of vehicle observation.

Scene	Place	Time	True	F.N	F.P
Cloudy	Tokyo→ Atsugi	56min	385 times 98.9%	4 times 1.1%	4 times
Sunny	Kawasaki→ Gotenba	53min	263 times 97.7%	6 times 2.3%	15 times
Against Sun	Gotenba→ Kawasaki	49min	155 times 72.1%	60 times 27.9%	16 times
Dusk	Okayama→ Hyogo	24min	46 times 69.7%	20 times 31.3%	1 times

F.N : False Negative , F.P : False Positive

図 10 後続車両までの相対距離

Fig. 10. A relative distance to following vehicles.

図 11 本システムの処理速度

Fig. 11. The system processing speed.

また、表 3 にリアルタイム実験での後続車両の監視精度を示す。後続車両が自車両を追い越すまでに後続車両を追跡し、危険判定を行えたか否かを判定した結果である。

7.5 相対距離計測結果 あるシーンにおける相対距離の計測結果を図 10 に示す。本システムは単眼カメラを用いており、カメラが路面に対して平行であると仮定して距離計測を行っている。その為、路面の勾配に対応しておらず、また車両の上下の揺れによっても計測誤差が生じる。40m 程度の距離までは安定した距離計測が行えているが、それより遠方では一画素の誤差が何 m もの誤差になる。

7.6 システム処理速度 リアルタイム実験における本システムの処理速度を図 11 に示す。リアルタイムを行うのに十分な処理速度が実現されている事が分かる。

7.7 車載実験 リアルタイム実験の結果とほぼ同程度の結果となった。車載実験により本システムの有用性が確認された。

8. 結 論

本稿では、画像処理を用いた、車両後方から危険車両を

検出し、追跡、監視するシステムを提案し、実際にリアルタイムシステムを構築、車載実験までを行い、その有用性を確認した。特に、車両検出においては、車両前面とその他の領域とを正確に分離する事により、車両前面のみの正確な位置での検出に成功した。

(平成 16 年 2 月 6 日受付)

文 献

- (1) K. Nohsoh and S. Ozawa: "A Simultaneous Estimation of Road Structure and Camera Position from Continuous Road Images", *IEICE Trans*, Vol.J76-D-II, No.3, pp.514-523 (1993-3) (in Japanese)
農宗千典・小沢慎治:「連続道路画像からの道路構造とカメラ姿勢の同時推定」, 信学論誌, **J76-D-II**, 3, pp.514-523 (1993-3)
- (2) 東晋一郎:「低速作業車の後方接近車両検知システム」, 電気学会道路交通研資, RTA-00-37 (2000)
- (3) 古川賢司 他:「車載用画像処理 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, SSII-03, pp.227-232 (2003)
- (4) 鈴木達也・高浜 琢・木村 健・松本真次・内藤原平:「ブレーキ制御による衝突事故回避システムに関する研究」, 自動車技術学術講演会前刷集, No.114-02, pp.13-16 (2002)
- (5) Y. Fujita: "Support Systems and Sensors for Safety Driving", *T. IEE Japan*, Vol.121-D, No.4, pp.435-436 (2001-4) (in Japanese)
藤田泰彦:「安全走行支援システムとセンサの現状と将来動向」, 電学論誌, **121-D**, 4, pp.435-436 (2001-4)
- (6) N. Tsunashima and M. Nakamura: "Extraction of Preceding Vehicle using Projected Disparity Map", *T. IEE Japan*, Vol.120-C, No.3, pp.337-344 (2000-3) (in Japanese)
網島宣浩・中島真人:「投影視差画像を用いた前方車両の検出」, 電学論誌, **120-C**, 3, pp.337-344 (2000-3)
- (7) N. Ohta and K. Nijima: "Detection of Approaching Cars via Artificial Insect Vision", *IEICE Trans*, Vol.J84-D-II, No.8, pp.1589-1596 (2001-8) (in Japanese)
大田直哉・新島和孝:「人工昆虫視覚による後方接近車両の検出」, 信学論誌, **J84-D-II**, 8, pp.1589-1596 (2001-8)
- (8) A. Broggi, M. Bertozzi, and A. Fascioli: "Visual Perception of Obstacles and Vehicles for Platooning", *IEEE Trans Intelligent Transportation Sys.*, Vol.1, No.3, (2000)

安 増 拓 見 (非会員) 2002 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。2004 年同大学大学院修士課程了。在学中は主として画像認識の研究に従事。現在 (株) 野村総合研究所に勤務。

小 沢 慎 治 (正員) 1967 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1972 年同大学院博士課程了。1970 年慶應義塾大学工学部電気工学科助手。同大専任講師・助教授を経て現在、同大情報工学科教授。その間、1984 年米メリーランド大訪問助教授。デジタル通信及び画像・音声のデジタル信号処理の研究に従事。著書「デジタル信号処理」,「基礎通信工学」(実教出版)。工博。