

後方広角カメラを用いたレーン逸脱警報技術

渡邊信太郎*
関 真規人**
羽下哲司***

Lane Departure Warning System Using Rearview Wide-angle Camera

Shintaro Watanabe, Makito Seki, Tetsuji Haga

要 旨

近年、ドライバーの注意力が低下した際の事故の予防に効果が大きい技術として、レーン逸脱警報技術が注目されている。

本稿では、安価にレーン逸脱警報を実現することを目的として、車両駐車時の視覚支援用に普及している汎用後方広角カメラの映像を入力とした、計算量の少ないレーン検出アルゴリズムを提案する。

提案アルゴリズムでは、映像に写り込んでいる左右の白線同士が地平線上で交わる点(消失点)が、映像中で時間的に連続した位置に写ることに着目して、消失点を低計算量で追跡し、その消失点を手がかりにレーン位置を特定することによって、レーンを高速に検知する。

さらに、後方広角カメラを用いて実環境でレーン検出を行うときに直面する課題と、それらの課題への対策手法について提案する。

後方カメラを用いてレーン検出を行うときに生じる不安定事象への対策として、次に挙げる4つの対策手法について述べる。

- (1) 正常品質画像判定手法
- (2) 視点正規化サンプリング手法
- (3) 外乱ノイズマスキング手法
- (4) 特徴抽出感度調整手法

そして、提案手法の有効性について、昼・夜・トンネル、晴れ・雨・雪などの様々な条件で撮影した映像を用いて評価した結果を述べる。

評価の結果、提案手法の処理速度はCPUコア“ルネサス SH-4A(動作周波数533MHz)”で5 ms/frame、自車に対するレーン位置の検知精度は±0.17mであり、実用レベルのスペックであることを確認した。

(a) 前方カメラと後方カメラの条件の違い

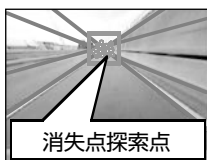
条件	専用前方カメラ	後方広角カメラ
設置場所	車内	車外
カメラの俯(ぶ)角	水平	斜め下向き
設置高さ	ルームミラー周辺(1.5m)	バンパー上部からリアウインドウ上部まで(0.6m~1.8m)
カメラの向き	前方	後方

(b) 不安定事象の一覧

条件	要因	問題点
設置場所	雨滴や汚れがレンズに付着しやすい	異常映像入力による誤検知
設置高さ	高さのバリエーションが大きい	白線の見え方の違いが大きい
カメラの向き	後続車のヘッドライト	路面反射領域の誤検知
	照度不足	低コントラスト時の見逃し



(c) 入力画像例



(d) 直線検出及び消失点探索結果例
レーン検出処理の流れ



(e) レーン検出結果例



(f) 豪雨



(g) 積雪



(h) 路面標示

正常品質画像判定によってレーン検出不能と判定されたシーン例

後方広角カメラを用いたレーン逸脱警報技術

近年、注目されているレーン逸脱警報機能を、駐車時視覚支援用に普及している後方広角カメラと、カーナビゲーションCPU (Central Processing Unit)の空き処理能力を用いて安価に実現するための技術である。計算量を抑えるため、(d)に示すように消失点を効率的に探索し、レーンを検出するアルゴリズムを開発した。また、後方広角カメラを用いることによって生じる(b)に示す不安定事象への対策を行うことによって、(f)~(h)のような悪い条件でも誤警報を抑制できる。

1. ま え が き

近年、ドライバーの注意力が低下した際の事故の予防に効果が大きい技術として、レーン逸脱警報技術が注目されている。現に、複数の自動車メーカーで車載カメラを用いたレーン逸脱警報システムが実用化されている。しかし、すでに実用化されているレーン逸脱警報システムの多くは、専用の前方カメラとカメラコントロールECU(Electronic Control Unit)によって構成される装置であるため高価であり、一部高級車のみへの搭載にとどまっている。

そこで我々は、レーン逸脱警報を安価に実現することを目標とし、駐車支援用として低価格車にも普及しつつある後方広角カメラと、安価な汎用ECU又はカーナビゲーションCPUとの組合せで動作する、軽量のレーン逸脱警報アルゴリズムの開発に取り組むことにした。

車載カメラによるレーン検知技術については、これまでに専用前方カメラを前提とした研究が多数行われている。しかしながら、これらの技術をそのまま後方広角カメラに適用したのでは、その撮影条件の違いによって安定に動作しない可能性がある。表1に既存の専用前方カメラによるシステムと後方広角カメラを用いたシステムとの条件の違いを示す。続いて、表2にこれらの条件の違いが原因で発生する不安定事象を示す。このように、後方広角カメラ映像を入力とする場合、前方カメラでは生じなかった、入力映像品質、視点位置、外乱ノイズ、特徴抽出に関する不安定事象が生じる。

本稿では、これらの不安定事象を取り除く方策として、正常品質画像判定手法、視点正規化サンプリング手法、外乱ノイズマスキング手法、特徴抽出感度調整手法を提案する。

2章では、この開発のベースとするレーン検知アルゴリズムについて述べる。3章では、提案する各種安定化手法について述べる。そして4章で昼夜雨雪などの条件で撮影した映像を用いた実験結果を示し、提案する手法の有効性を示す。

2. 後方広角カメラを用いたレーン検知アルゴリズム

2.1 関連研究

車載カメラによるレーン検知の先行研究は多数ある。そ

表1. 前方カメラと後方カメラの条件の違い

条件	専用前方カメラ	後方広角カメラ
設置場所	車内	車外
カメラの俯角	水平	斜め下向き
設置高さ	ルームミラー周辺(1.5m)	バンパー上部からリアウィンドウ上部まで(0.6~1.8m)
カメラの向き	前方	後方

表2. 不安定事象

条件	要因	問題点
設置場所	雨滴や汚れがレンズに付着しやすい	異常映像入力による誤検知
設置高さ	高さのバリエーションが大きい	白線の見え方の違いが大きい
カメラの向き	後続車のヘッドライト	路面反射領域の誤検知
	照度不足	低コントラスト時の見逃し

の多くは、画像からエッジなどのレーンマーク特徴を抽出し、その特徴が直線又は曲線上に並ぶ箇所を解析することによってレーン検知を行う。このときに何らかの制約を設け、探索パラメータを限定することによって高速性、安定性を向上させるのが一般的である。その制約として、①レーンマーク特徴の隣接関係を用いる手法、②レーンマーク特徴の傾きなどの属性の隣接関係を用いる手法、③特徴の並びをパターンにとらえ、限定した数量のパターンとの照合を行う手法、④シーンの時間連続性を利用して対象追跡することによって探索パラメータを限定する手法等がある。①にはLieらの手法⁽¹⁾があるがすすれたレーンマークや低コントラスト時に弱い。②にはKangらの手法⁽²⁾があるが計算が複雑になり処理が遅くなるという課題がある。③には二宮らの手法⁽³⁾やKlugeらの手法⁽⁴⁾があるが左右片方のレーンマークが見えないときなどに安定しないなどの課題がある。そこで今回、最も効率的に探索空間を絞り込める④の追跡に基づく手法を用いることとした。中でも、消失点に着目し追跡することによって高速性、安定性を高めた関の手法⁽⁵⁾をベースに後方広角カメラによるレーン逸脱警報システムの構築を行うこととした。

2.2 消失点追跡によるレーン検知アルゴリズム

図1にベースとするレーン検知アルゴリズムのフローチャートを示す。ここでは、これらの処理について述べる。

2.2.1 入力画像縮小

処理の高速化のため入力画像を縮小する。画像サイズの縮小によって、計算時間は短縮できるが、レーンマーク位置の検知精度が低下するため、要求精度に応じてサイズを決定する必要がある。

2.2.2 レーンマーク特徴抽出

レーンマーク部に対してその左右の路面が暗いということに着目し、x座標方向の“暗”-“明”-“暗”の画素の並びに対して高い値を返す1次元トップハットフィルタを適用し、それを閾値(しきい値)処理して2値化することでレーンマーク特徴を抽出する。処理例を図2に示す。

2.2.3 直線尤度分布作成

抽出した特徴点それぞれについて、その点を通過する直線パラメータ列を投票空間に投票し、特徴点によって構成される直線を見つけ出すハフ変換という手法がある。こ

こでは、このハフ変換⁽⁵⁾に基づいて、レーンマーク特徴に対する投票空間を作成する。

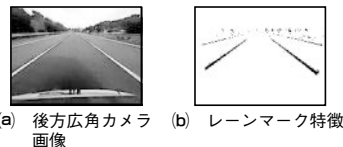
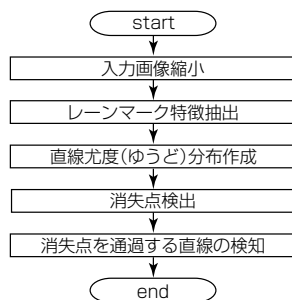


図1. 提案手法のフローチャート 図2. レーンマーク特徴

2.2.4 消失点検出

消失点は複数のレーンマークの延長線が交わる点と定義する。前フレーム画像で消失点らしき(消失点尤度)が高かった領域周辺を中心に消失点を探索し、現フレーム画像の消失点を見つけることで、処理の高速化を図る。

このとき用いる消失点尤度を2.2.3項で述べた投票空間から求める方法について述べる。

消失点は複数の直線が交わる点であるので、この点に対応した直線パラメータ列の中には、複数の直線に対応した投票度数のピークが存在することになる。つまり、消失点仮説に対応する直線パラメータ列の投票度数を評価することによって、消失点尤度を算出できることがわかる。

そこで、閾値以上の得票度数のピークの高さの和を持って消失点尤度とした。

2.2.5 消失点を通過する直線の検知

検出された消失点に対応する直線パラメータ列のピーク部が、消失点を通過する直線のパラメータであるので、これをレーンマークによる直線として検知する。

3. 後方広角カメラ向け安定化手法

3.1 後方広角カメラ利用時の不安定事象

後方広角カメラ利用時に生じる不安定事象を整理する。

①入力映像品質に関する不安定事象

車外に設置されたカメラレンズへの雨滴や汚れの付着に伴い、認識不能な映像が入力される現象

②視点位置に関する不安定事象

カメラ設置高さの違いによってレーンマークの見え方が変化する現象(2本のレーンマークによって描かれるハの字の裾の広がりカメラ高さに依存)

③外乱ノイズに関する不安定事象

後続車のヘッドライトの光が路面に反射して入射するとき、その反射領域があたかも白線のように見える現象

④特徴抽出に関する不安定事象

前方カメラの場合、夜間は撮影領域を自車ヘッドライトで照らすことになるため十分な照明が得られるが、後方広角カメラの場合、自車のテールランプの明かりを頼りにするしかなく照明不足になり、撮影画像のコントラストが低くなる現象

これらの不安定事象を解決する策を次に述べる。

3.2 後方広角カメラ向け安定化手法

3.2.1 正常品質画像判定手法

入力映像の品質が悪くレーンマークが観測できる状態がないシーンや、レーンマーク以外に紛らわしい対象が多く写り込んでいるシーンなど、レーン位置を精度良く検知することは困難になる。この手法は、この困難さの尺度となるレーン検知の信頼度を算出する手法であり、その信頼度が著しく低い場合は、レーン逸脱警報を抑制し誤報率を削

減するためのものである。

レーン検知の信頼度の高いシーンでは、消失点を通るレーンマークに対応した1~4本の直線が検知されるはずである。それに対して、レーン検知の信頼度の低いシーンでは、紛らわしい直線候補が複数隣接して検知されるはずである。

このことを信頼度に反映する指標として、消失点を通る直線パラメータ列の投票度数分布からピーク検出を行い、そのピークに対応した直線間の距離を算出し、その距離が狭い場合に信頼度が低下するという指標を考える。

図3に良好なシーンと検知困難なシーンにおける投票度数分布例を示す。グラフ横軸は消失点を通る直線の角度、縦軸は投票度数を表す。これを見ると、条件の悪いシーンでは、ピークが隣接して検知されており、信頼度指標として活用できることがわかる。

3.2.2 視点正規化サンプリング手法

カメラの設置高さに応じて、撮影される映像は図4(a)(b)のように変化する。

カメラの設置高さが低いとき、2本のレーンマークで描かれるハの字の裾は左右に広がるため、レーン中央付近を走行中は、レーンマーク特徴が消失点から近い領域のみに集中する。一方、カメラの設置高さが高いときは、ハの字の裾の広がりが少ないため、画面下部まで有効な特徴が分布する。

この偏って分布する特徴を有効に使うため、カメラの設置高さに応じて入力画像縮小時のサンプリング地点を調整することとする。

これによって、カメラの設置高さによらない有効な特徴の活用が可能となる。

図4(c)~(e)に縮小結果を示す。カメラ設置高さの影響を軽減した入力データが生成できていることがわかる。

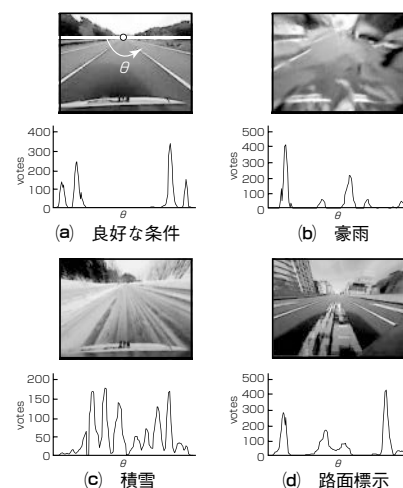


図3. 投票度数分布例

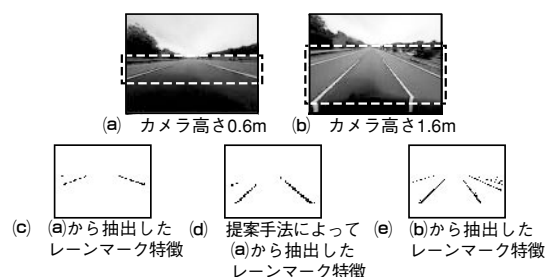


図4. カメラの設置高さによるレーンマークの見え方

またこの手法は、ハフ変換の直線角度検知の観点から性能改善にも有効であると言える。図5に示すように、この提案手法を適用しないとき、カメラに対するレーンマークの位置変化は、微小な角度変化となるのに対し、この提案手法を適用すると角度が増幅されるため、角度分解能が向上することと等価になる。

3.2.3 外乱ノイズマスキング手法

後続車のヘッドライトで路面反射が発生しているシーンと、地平線近くの太陽によって発生する同様の現象を図6に示す。このように路面反射が発生したシーンの場合、特徴抽出時に外乱ノイズが多く抽出される。

路面反射が発生するシーンの共通点として、地平線付近にスポット光源が存在することが挙げられる。そして、路面標示領域はその光源からカメラ画像中央下部に向かって延びることがわかる。

そこで、スポット光源検知時には、その光源位置からカメラ画像中央下端を結ぶ直線上の特徴点をマスキングする対策を施すことによって外乱ノイズを消すことができる(図6)。

この処理の導入では、有効な特徴も削除してしまう副作用が心配になる。しかし実際に削除される特徴は、光源から画像中央下端を結ぶ直線上のごくわずかな領域の特徴のみであるため、実害は非常に少ないと言える。

3.2.4 特徴抽出感度調整手法

後方広角カメラでは、特に夜間に自車のヘッドライトという光源がないので、街灯の有無によって照度変化が大きくなる。そのため、レーンマーク特徴抽出時の感度をシーンのコントラストに応じて調整しなければ、特徴見逃しや過剰検知という問題が生じやすい。そこで、本稿では、前フレーム画像における特徴抽出点数が、目標数より低ければ閾値を下げ、目標数より高ければ閾値を上げて感度を調整し、現フレーム画像での特徴抽出を行うことによって抽出特徴点数の安定化を図った。

この手法によって、見逃しと過剰検知を軽減できる効果以外に、ハフ変換での投票処理回数を安定化させることにつながるため、各フレーム処理に必要な処理時間を安定化させる効果も期待できる。

4. 実験

実験車両に後方広角カメラと、前タイヤ部撮影用カメラを設置し、同期撮影したデータを用いて性能評価を行った。

入力画像縮小を80×60画素とし、処理フレームレートを10fpsとしたときに、レーン逸脱時の自車に対するレーン位置の検知精度は±0.17mであった。このときの処理速度は、CPUコア「ルネサスSH-4A(動作周波数533MHz)」で、1フレームの処理を行う時間は5msであった。

この検知精度はNCAP(New Car Assessment Program)

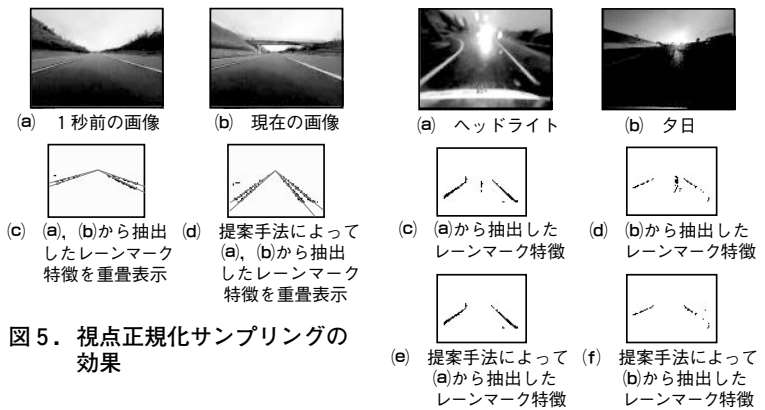


図5. 視点正規化サンプリングの効果

図6. 外乱ノイズマスキングの効果

で定められるレーン逸脱警報装置への要求精度を満たす水準である。また、この処理速度は比較的安価なマイコンでも十分実行可能な水準と言える。

5. むすび

後方広角カメラを用いてレーン検知を行う上での不安定事象を整理した。そして、それらの不安定事象を解消する方策として入力映像品質安定化、視点位置安定化、外乱ノイズ安定化、対象抽出安定化の手法を提案し、実験によってこれらの提案手法の有効性を示した。

参考文献

- (1) Lie, Q., et al.: Real-time Lane Detection Based on Extended Edge-linking Algorithm, Computer Research and Development, 2010 Second International Conf., 725~730 (2010)
- (2) Kang, D. J., et al.: Road lane segmentation using dynamic programming for active safety vehicles, Pattern Recognition Letters, 24, No.16, 3177~3185 (2003)
- (3) 二宮芳樹, ほか: 高速パターン照合手法を利用したレーン認識システム, 電子情報通信学会論文誌D-II, J86-DII, No.5, 625~632 (2003)
- (4) Kluge, K., et al.: A Deformable-Template Approach to Lane Detection, Intelligent Vehicles '95 Symposium, 54~59 (1995)
- (5) 関 真規人: パーティクルフィルタとハフ変換の仮説統合による消失点の追跡, 電子情報通信学会論文誌D, J92-D, No.1, 131~140 (2009)
- (6) 和田俊和, ほか: $\gamma - \omega$ ハフ変換—可変標本化による $\rho - \theta$ パラメータ空間の歪みの除去と投票軌跡の直線化, 電子情報通信学会論文誌D-II, 75-DII, No.1, 21~30 (1992)
- (7) Isard, M., et al.: CONDENSATION—conditional density propagation for visual tracking, International Journal of Computer Vision, 29, No.1, 5~28 (1998)