

## 自動車用白線認識アルゴリズムの一実現

田岡 武司<sup>†</sup> 真鍋 真<sup>†</sup> 上林 学<sup>†</sup> 大西 陽介<sup>†</sup> 福井 正博<sup>†</sup>

<sup>†</sup>立命館大学大学院理工学研究科 <sup>‡</sup>立命館大学理工学部

〒525-0058 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: {re006013, re011015, re003025, re002023, mfukui}@se.ritsumei.ac.jp

あらまし 近年、自動車安全運転支援システムの研究が盛んに行われているが、車載カメラを用いる車や人物等の認識、安全確保の技術などにおいても走行路（白線）の認識は基本的な技術である。白線認識システムの手法としては、Hough 変換による直線成分の認識手法が広く用いられている。しかし、曲線路に Hough 変換を適用する場合、アルゴリズムが複雑化するため、あまり効率的な手法は提案されていない。著者らは、曲線路を折れ線で近似することにより、処理を高速に行う新たな手法を提案する。

キーワード 白線認識, ハフ変換, K-平均法

## An Efficient Lane Recognition Algorithm for Automobile Applications

Takeshi TAOKA<sup>†</sup> Makoto MANABE<sup>†</sup> Manabu KANBAYASHI<sup>†</sup>

Yosuke OHNISHI<sup>†</sup> and Masahiro FUKUI<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Engineering,

<sup>‡</sup>College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

Noji-higashi 1-1-1, Kusatsu, Shiga 525-0058, Japan

E-mail: { re006013, re011015, re003025, re002023, mfukui }@se.ritsumei.ac.jp

**Abstract** Lane recognition is an essential technique for automobile active safety applications. We aim at developing a high speed and high accurate lane recognition system. Especially, curvature lane recognition is not easy and no efficient algorithm has been proposed. This paper proposes a new efficient algorithm for lane recognition algorithm by approximation by piecewise linear lines. The algorithm extracts lane from a picture of 500 x 350 pixels in 0.8 sec by PC software.

**Keyword** Lane recognition, Hough transform,  $k$ -means clustering

### 1. はじめに

近年、自動車業界では自律走行技術や安全運転支援システムの研究が盛んに行われている[1-4]。その中の一つとして車載カメラによって得られた道路画像から走行レーンである白線を検出し、走行可能な領域や予測進路を推定するシステムがある。このシステムを安全に役立てる為には、処理を高速で行い、また高い精度を実現しなければならない。

従来、道路画像から走行レーンである白線を認識する方法として、道路画像上のエッジから Hough 変換(直線認識)によって走行レーンを直線近似する手法[5]が提案されている。しかし、Hough 変換による直線近似では、急カーブのような走行レーンの曲率が高い状況では実際の走行レーンとの誤差が大きくなる問題があった。また、道路画像上に路面表示や横断歩道とい

った走行レーン以外のエッジが多く存在する状況では安定して走行レーンの白線を認識することができないという問題点もあった。これらの解決法として、現在様々な手法[6-8]が考案されているが、いずれも処理時間を要するものである。

本研究ではこれらの問題点を解決する為の新しい手法について検討する。本手法では、カメラによって得られた道路画像を、カメラから近い領域(近領域)と遠い領域(遠領域)とに分割し、双方を別々に Hough 変換で処理を行う。それにより、曲線を折れ線で近似することができ、曲率の高い走行レーンにおいても誤差を少なくすることが可能となった。また、K-平均法[9]による画像のクラスタリングを行うことにより、白線周辺領域を固まりとして抽出することができ、道路画像上に走行レーン以外のエッジが多く存在する状況

においても、白線の誤認識率を大幅に低減することができた。以下において、2章では提案手法のあらましを述べ、3章に実験結果、4章で今後の課題を考察し、最後に5章でまとめとする。

## 2. 提案手法

提案手法の処理手順について記述する。図1に処理フローを示す。まず前処理として、車載カメラによって得られた画像を白線強調フィルタにかける。次に直線推定法を用いて画像の2分割処理を行い、近領域と遠領域とに画像を分割する。次に近領域と遠領域のそれぞれについて、K-平均法によるクラスタリングとHough変換を行い、曲線路を折れ線によって近似した。最後に折れ線をベジエ法[10]により曲線表現する。

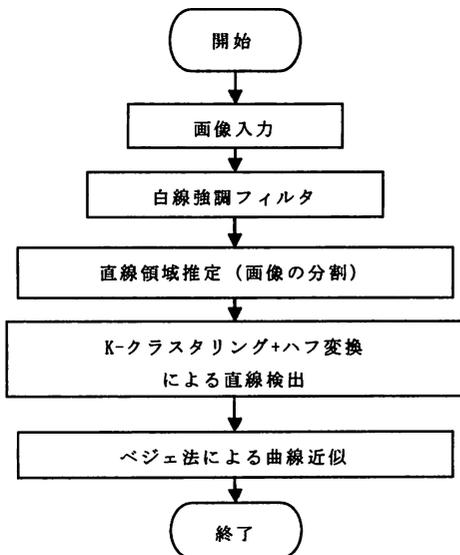


図1 白線認識処理の流れ

### 2.1. 白線強調フィルタ

図2に示すような道路画像に対し、白線強調処理を行う。図3に示すように、画像内の白線はある幅を持っており、この幅を考慮し水平方向に適切な長さを持った微分フィルタを適用することによって、白線の両端のエッジを強調する事ができる。

本手法では、図4に示す1×9の白線強調フィルタを用いた。なお、フィルタのパラメータが0になっている部分が注目画素である。このフィルタは、注目画素を境にしてパラメータが(-1)の部分に暗い画素(路面)が、(1)の部分に明るい画素(白線)が重なるときに、出力値が最大になる。原画像にフィルタを適用した画像を図5示す。

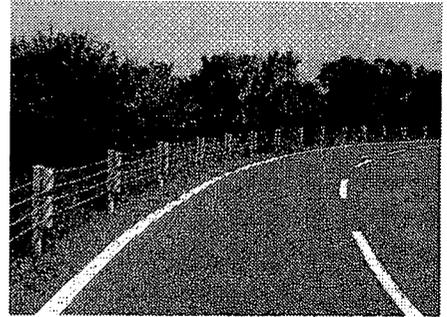


図2 道路原画像

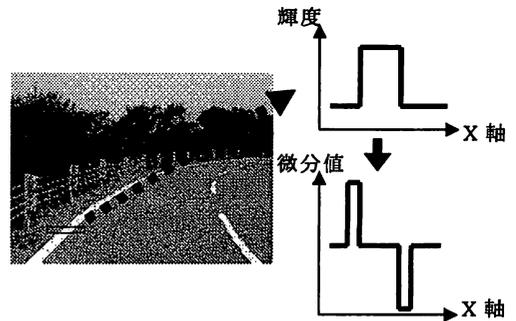


図3 白線の両端エッジの検出

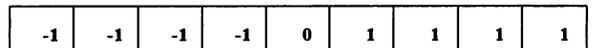


図4 白線強調フィルタ

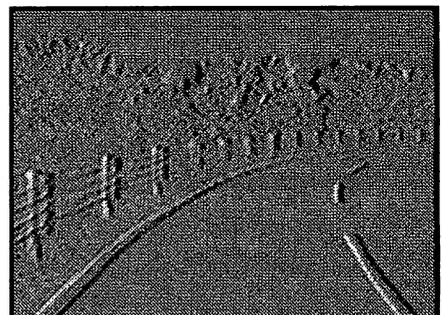


図5 白線強調画像

## 2.2. 曲線路画像の分割処理

図6に曲線路を真上から見た画像と車載カメラによって得られる曲線路画像を示す。このように、カメラ画像では見かけ上、実際の曲線路と比べてカメラから遠い地点に行くほど曲率が大きくなって見える。また、カメラから近い地点では、走行レーンがほぼ直線であるとみなすことが出来る。この特性から、我々は画像をいくつかの領域に分割し処理する事で、精度の高い白線検出が可能であると考えた。分割数については、“近領域”、“遠領域”の二分割と“近領域”、“中間領域”、“遠領域”の三分割の二通りで実験したが、三分割手法では満足する行く結果は得られなかった。これは分割数を増やす事で各領域の白線候補となりうるエッジの数が少なくなり、パラメータ空間への投票度数の多さで直線らしさを判定するHough変換では直線の検出が困難になるためである。

そこで我々は2.3節で述べる直線領域推定法を用いて図7のように道路画像を近領域と遠領域とに上下に二分割し、それぞれ別々にクラスタリング処理とHough変換処理を行うことで、曲線を折れ線で近似した。これにより、Hough変換によって得られる白線(直線)と実際の白線(曲線)との誤差を少なくすることを可能にした。



(a)



(b)

図6 視点による見え方の違い、(a)上から見た実際の道路形状と(b)カメラ画像

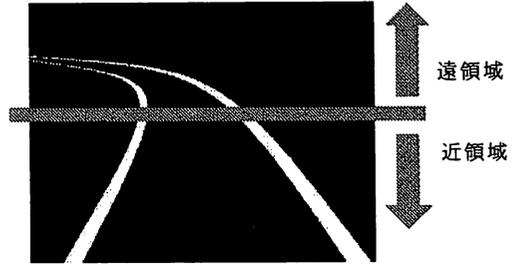
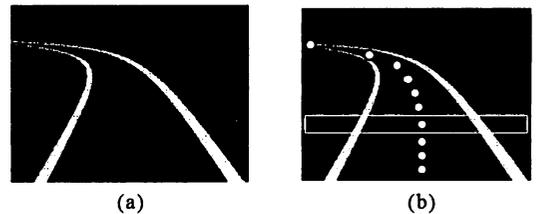


図7 近領域と遠領域の分割処理

## 2.3. 直線領域推定法

画像の分割処理に必要な直線領域推定法について述べる。

図5の白線強調画像を二値化した画像のモデルを図8(a)に示す。白線強調画像に対して図8(b)のように小領域を設定し、小領域内にある白画素のX座標の平均値を計算する。



(a)

(b)

図8 二値化画像のモデル

図8(b)を見れば分かる通り、直線領域と見なせる範囲では、X座標平均値の変化幅が少ない。したがって、適切な閾値を設定し変化幅と比較し、白線強調画像から直線領域を推定する。

## 2.4. K-平均法によるクラスタリング

近領域と遠領域の各領域内に存在する2本の白線を検出するには、Hough変換を適用する前に、領域内の複数の点を走行レーンの右側の白線候補と左側の白線候補の二つのグループに分けるのが効果的である。こうする事で各グループの中から1本の直線成分を検出すればよく、また他方のグループのエッジの影響を全く受けずに済む為、二つのグループにまたがるような誤った直線成分の検出を防ぐことができる。

領域内の点を正確に二つのグループに分ける為に、我々はK-平均法と呼ばれるクラスタリング手法を用

いた。K-平均法とは、画面上に表示されている複数の点を近いものどうしでクラスタと呼ばれるグループに分ける処理である。K-平均法は生成されるクラスタの数を任意に設定することができ、クラスタの数  $K=2$  として、道路画像から検出した複数のエッジを走行レーンの左側の白線候補を含むクラスタと右側の白線候補を含むクラスタに分けた。図9にクラスタリング処理を行った画像を示す。



図9 道路画像のクラスタリング結果

近領域と遠領域とでは、近領域の方が処理は容易である。これは近領域では左右の白線の間隔が離れており、かつ検出されるエッジも両白線近傍に集中している為で、この場合 K-平均法によるクラスタリングは効果的である。一方、遠領域においては、左右白線の間隔が狭くなり、左右の白線候補のエッジを一つのクラスタに含めてしまう可能性が高くなる。この誤ったクラスタリングを防ぐ為、我々は近領域のクラスタリング結果を利用して遠領域に生成されるクラスタの初期位置を指定し、クラスタリングの範囲を限定する事で左右の白線候補エッジを一つのクラスタに含めないようにしている。

### 2.5 Hough 変換

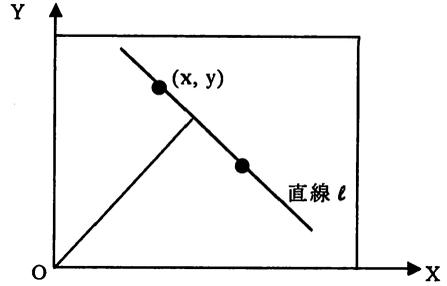
我々が本手法で用いた Hough 変換は、ノイズや直線成分の隠蔽にも強いという特徴を持った直線検出法である。画像空間内の直線  $l$  を考える。 $l$  の直線式として、

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

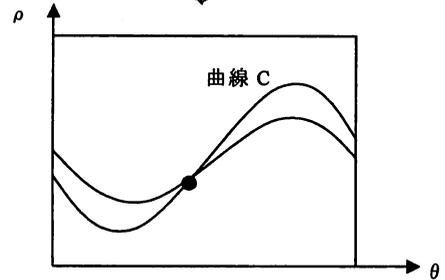
を用いる。ここで  $\rho$  は画像の原点から直線  $l$  までの距離、 $\theta$  は原点から直線  $l$  に下ろした垂線と  $x$  軸のなす角である。

画像内の座標  $(x, y)$  の点にエッジを検出したとき、座標を式(1)に代入する。これにより、式(1)は  $\rho$  と  $\theta$  の関

係式になり、 $\theta - \rho$  平面上の曲線を表す。



(a) xy 原画像平面



(b)  $\theta - \rho$  平面

図10 原画像平面と  $\theta - \rho$  平面

同様の処理を原画像内のすべてのエッジについて行うことにより、エッジの数だけ  $\theta - \rho$  平面に曲線が描ける。原画像内でエッジが直線状に並んでいれば、 $\theta - \rho$  平面状で曲線 C がある一ヶ所で交わり、累積値がピークを形成する。このピークの座標  $(\theta, \rho)$  が原画像内で最も可能性の高い直線のパラメータを表しており、これから、原画像平面に直線を描画することができる。

### 3. 実験

実際の道路画像を用いて、提案手法の有効性について検証した。直線の道路画像と曲率の高い道路画像のそれぞれについて、提案手法と従来手法との比較実験を行った。従来手法には、提案手法から領域分割とクラスタリング処理を除いた手法を用いた。図11に直線道路についての処理結果を、図12に曲率の高い道路についての処理結果を、図13に曲率が高くノイズ多い道路画像に対する処理結果を示す。また、提案手法によ

って得られた実験結果は、処理で得た折れ線をベジェ曲線[10]によって滑らかな曲線に変換している。使用したPCはCPU Pentium® M, 1GHz, メモリが760MBで、一枚の画像(500x350)を処理するのに0.8秒を要した。

#### 4. 考察

直線道路について処理を行なった場合、従来手法と提案手法ともに白線認識を高い精度で実現できている。一方、曲率の高い道路について処理を行なった場合、従来手法では白線を認識することが出来なかったのに対し、提案手法では白線認識を適切に行なえた。しかし、今回の実験で提案手法において幾つか問題点が見られたので、以下に報告する。

- (1) 各クラスタに白線候補が複数検出された場合、正確に処理を行うことが困難であった。
- (2) 道路以外の背景エッジの除去が不完全であると処理結果が不正確になる。

#### 5. まとめ

本研究では、分割手法とクラスタリングを用いて曲線を折れ線で近似する方法を提案した。この方法は企画的シンプルな処理の組み合わせで処理できるため、高速処理の点で優位性を持つと考えられる。

今後は、問題点を解決する為に、処理の障害となる背景エッジを効率よく除去するフィルタの開発とクラスタ内の直線成分抽出精度の向上について検討を進める。また、動画処理に向けた新たなアルゴリズムの考案と、FPGAを用いたハード化による高速化手法についても検討している。

#### 謝 辞

本研究の一部は、文部科学省ハイテクリサーチセンター整備事業プロジェクト“インテリジェント・ソサエティにおける研究”による。

#### 文 献

- [1] J. Miura, et al, "Toward vision-based intelligent navigator: its concept and prototype," *IEEE Trans. on Intelligent transportation sys.*, Vol. 3, No.2, pp.136-146, June 2002.
- [2] T. Bucher, et al, "Image processing and behavior planning for intelligent vehicles," *IEEE Trans. on Ind. Elec.*, Vol.50, No.1 pp.62-75, Feb. 2003.
- [3] P. Kuang, et al, "Real-time road lane recognition using fuzzy reasoning for AGV vision system," *Proc. ICCAS*, Vol. 2, pp.989-993, June 2004.

- [4] R. Behringer, et al, "Results on visual road recognition for road vehicle guidance," *Proc. Intelligent Vehicles Sym.*, pp.415-420, Sept. 1996
- [5] 網島宣浩, 佐藤泰則, 中澤和夫, 中島真人, "回転フィルタを用いた車両前方走行画像からの白線認識," *電気情報通信学会論文誌*, Vol.J81-D-2, No.6, pp.1470-1473, 1998/6.
- [6] 藤本公三, 岩田剛治, 仲田周次, " $\theta$ - $\rho$  ハフ平面からの2次曲線パラメータ抽出," *電気情報通信学会論文誌*, Vol.J74-D-2, No.9, pp.1184-1191, 1991/9.
- [7] 数井誠人, 長谷山美紀, 北島秀夫, "Hough変換に基づく曲線路におけるレーンマーキングの推定に関する考察," *信学技報*, CS2000-101, IE2000-111, pp85-90, 2000/12.
- [8] 数井誠人, 長谷山美紀, 北島秀夫, "複比を用いたレーンマーキングのエッジ抽出," *電気関係学会北海道支部連合大会講演論文集*, p.268, 2000.
- [9] T. Kanungo, et al, "An efficient k-means clustering algorithm: analysis and implementation," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No.7, pp.881-892, July 2002.
- [10] B.A. Barsky, et al, "Geometric continuity of parametric curves: constructions of geometrically continuous splines," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 10, pp.60 - 68, Jan. 1990.
- [11] 真鍋真, 田岡武司, 上林学, 大西陽介, 福井正博, "自動車用道路白線認識システムの一検討," *情報処理学会関西支部大会*, 大阪, 2006.10.

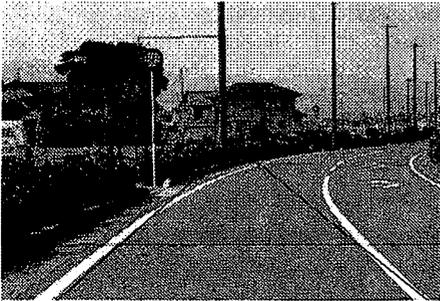


(a) 従来手法



(b) 提案手法

図 11 直線道路画像に対する処理結果



(a) 従来手法

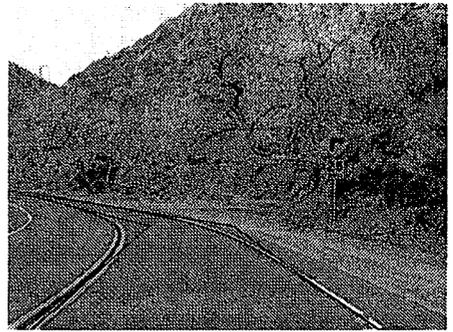


(b) 提案手法

図 12 曲率の高い道路画像に対する処理結果



(a) 従来手法



(b) 提案手法

図 13 曲率が高く、ノイズの多い道路画像に対する処理結果