

# 4本Snakeによる道路両端白線の両エッジ追跡の検討

## A Study on Tracking Edges of Road White Lines by Four Snakes

澤野弘明<sup>†</sup> 岡田 稔<sup>†</sup>  
H. Sawano M. Okada

### 1 はじめに

本論文では動的輪郭モデル snake[1] を利用した、道路シーンからの道路両端白線の両エッジ追跡法を提案する。Snake は画像中の輪郭抽出問題をエネルギー最小化問題として扱い、定義したエネルギーの総和が最小となる状態を解とする手法である。さて、画像中に道路白線が存在する場合、道路両端を対にしたときの内側と外側に二つの物理的なエッジが存在する(図1)。これまでの道路エッジ追跡に関する研究[2, 3, 4]では、片側みのエッジを追跡していた。本研究では道路両端白線の両エッジを同時に追跡することにより、それぞれのエッジに対応する snake の相互作用によって、追跡精度、ロバスト性の向上を目指す。三次元 CG 動画像を用いたファントム実験により提案手法の有効性を検証する。また実写動画像に提案手法を適用し実験結果より今後の課題を示す。

### 2 Snake による内側と外側のエッジ両追跡

提案手法は従来手法[4]に基づいて設計され、snake の制御点のベクトル表現は  $\mathbf{v}(i) = (x(i), y(i))$  として定義される。道路白線のそれぞれの物理的なエッジを目的別に追跡するために一階偏微分に横 ( $D_x = \frac{\partial}{\partial x}$ ) と縦 ( $D_y = \frac{\partial}{\partial y}$ ) の両方向を使用する。さて、画像を一階偏微分した結果には、物理的なエッジの位置に正もしくは負のピークが現れる。正と負、横と縦の組み合わせに対応した snake の画像エネルギー  $E_{x+}, E_{x-}, E_{y+}, E_{y-}$  を(1)~(4)式に示す。

$$E_{x+}(\mathbf{v}(i)) = \begin{cases} -w_{\text{image}} G_{\sigma} D_x I(\mathbf{v}(i)) & : D_x I(\mathbf{v}(i)) \geq 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{x-}(\mathbf{v}(i)) = \begin{cases} w_{\text{image}} G_{\sigma} D_x I(\mathbf{v}(i)) & : D_x I(\mathbf{v}(i)) \leq 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$E_{y+}(\mathbf{v}(i)) = \begin{cases} -w_{\text{image}} G_{\sigma} D_y I(\mathbf{v}(i)) & : D_y I(\mathbf{v}(i)) \geq 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$E_{y-}(\mathbf{v}(i)) = \begin{cases} w_{\text{image}} G_{\sigma} D_y I(\mathbf{v}(i)) & : D_y I(\mathbf{v}(i)) \leq 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

ここで  $w_{\text{image}}, G_{\sigma}, \nabla, I$  は、それぞれ重み係数、標準偏差  $\sigma$  によるガウシアン演算子、グラジエント演算子及び画像の輝度値である。エッジに対応するエネルギーは、制御点  $\mathbf{v}(i-1), \mathbf{v}(i)$  による線分と  $x$  軸のなす  $\mathbf{v}(i-1)$  中心の反時計回りの角によって選択される[5]。また、直線道路両端の全てのエッジ間は交差しないという拘束条件に基づき、異なる snake 間で交差判定する。消失線近辺を移動する、4本の snake に対応する4つの各制御点を消失点に対応させるため統一して扱う。

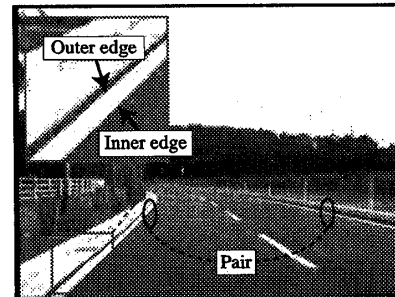


図1 道路白線の内側と外側のエッジ

Fig. 1: Inner and outer edges of road white lines

### 3 実験と考察

#### 3.1 三次元 CG 動画像によるファントム実験

提案手法の有効性を検証するために、明瞭な白線が存在し、周辺車輛などのノイズを含まない三次元 CG 動画像によるファントム実験を行う。従来手法[4]による白線追跡結果と、提案手法による内側のみと外側のみ、両エッジ同時の追跡結果を図2に示す。ここで実験には同じ動画像を用いたが、実験結果は処理時間によって異なるフレームレートに依存するため同一のシーンではない。また RedHat Linux, Athlon MP 2200+ dual 環境で実験を行い、 $G_{\sigma}$  のサイズは  $51 \times 51$  [pixel],  $\sigma = 17$  [pixel], 画像サイズは  $640 \times 480$  [pixel], 制御点の探索範囲は  $[-5, 5] \times [-5, 5]$  [pixel] とした。Snake を動画像処理に適用するため、あるフレームの制御点の初期位置は前フレームの結果を用いた。

実験結果を筆者らが提案した評価方法[6]により、内側と外側の収束誤差  $\overline{E}_{\text{in}}, \overline{E}_{\text{out}}$  について定量評価する。さらに1フレームあたりの処理時間 [sec] の逆数 fps も評価する。以上の評価基準の各4フレームの平均、 $\overline{E}_{\text{in}}, \overline{E}_{\text{out}}, \text{fps}$  による、各実験方法に対する評価を表1にまとめる。それぞれの評価項目において最も良好な結果にアンダーラインを引いた。表1より、収束誤差  $\overline{E}_{\text{in}}, \overline{E}_{\text{out}}$  について、提案手法の有効性が従来手法に較べ顕著に現れた。しかし、従来手法と提案手法の内側と外側のエッジを選択的に追跡する手法では、処理時間にあまり差はないが、同時にエッジ追跡する場合、snake の制御点数に比例し、二倍の処理時間を費やしたことが確認された。

#### 3.2 実写動画像による道路白線追跡実験

ファントム実験により、抽出精度において提案手法の基本的な有効性が確認された。そこで、CCD アナログビデオカメラをセダン型自動車の助手席に設置し、あらかじめ時速 50[km/h] で走行中に撮影した実写動画像に対して道路白線追跡実験を行う。画像サイズは  $640 \times 480$  [pixel] とし、カメラの高さと画像サイズに対応した焦点距離はそれぞれ 1154.0[mm] と 994.5[pixel]

<sup>†</sup> 早稲田大学大学院情報生産システム研究科  
Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University

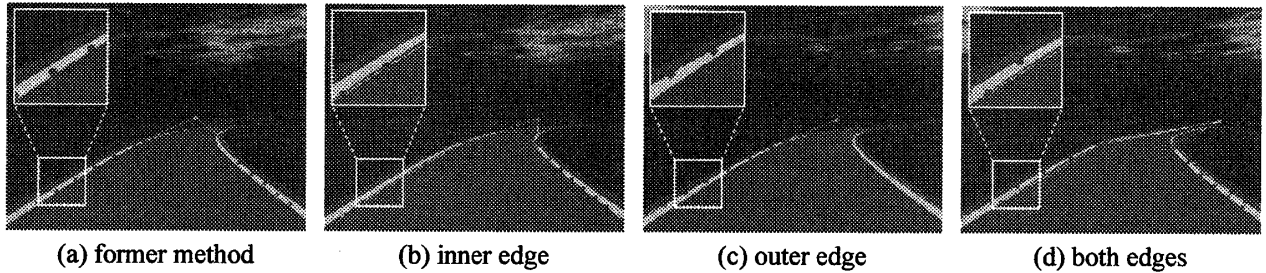


図2 ファントム 3D-CG 動画像のための従来手法と提案手法による実験結果 (動画像の一部)

Fig. 2: Experimental results by the former and proposed methods for a phantom 3D-CG video (a frame in the video)

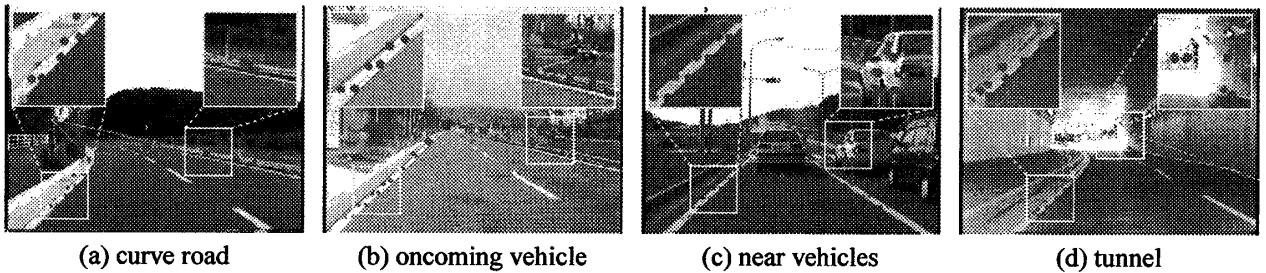


図3 実写動画像のための提案手法による実験結果 (動画像の一部)

Fig. 3: Experimental results by the proposed method for actual road videos (a frame in the videos)

表1 従来手法とのエッジ追跡結果の比較  
(各4フレームの平均値)Tab. 1: Comparison of tracking edges with the former method  
(average of 4 frames)

	$\bar{E}_{in}$	$\bar{E}_{out}$	fps
former method	6.70	5.22	3.389
proposed method (inner)	4.21	—	3.090
proposed method (outer)	—	4.30	4.046
proposed method (both edges)	4.70	—	1.824
	—	3.02	

 $E_{in}, E_{out}$ : Convergence error (inner, outer)

fps: Frame rate

とする。実験ではファントム実験と同一の環境を使用する。実写動画像に適用した道路両端の白線の両エッジ追跡結果を図3に示す。ここで、道路エッジが死角に存在し、正確に真値を決定できない場合があるため、実写動画像の定量評価は行っていない。実写動画像の実験結果において以下のような問題点が確認された。

- (a) カーブ道路 遠方のカーブの形状を追跡できていないことが確認された(図3(a))。これは  $G_\sigma$  のサイズの影響を強く受けているため、動的に変更させて対応する。
- (b) 対向車輛が存在するシーン 図3(b)では、ある制御点に対向車輛のエッジを追跡している。道路右外側のsnakeの形状のみを補正するために、白線すなわち2本のsnakeの幅を一定とする拘束条件を用いて対策する。
- (c) 交差点手前に車輛が存在するシーン 図3(c)では道路右側の2本のsnakeが車輛のエッジを追跡している。白線の幅以外に道路幅すなわち4本の各snake間の間隔一定という拘束条件を用いてロバスト性を向上させる。
- (d) トンネル トンネルの出入り口付近では照明の変化が大きく、ロバストに追跡できていない(図3(d))。ダイナミックレンジの改善等の対策が必要である。

## 4 まとめ

本論文では、道路両端白線の内側と外側の物理的なエッジを選択的かつ同時に追跡する手法を提案した。従来手法による結果に比べて提案手法による結果の追跡精度は向上したが、4本のsnakeを同時に扱うことにより、従来手法に比べ処理時間が増加するという問題が確認された。今後の課題として、処理時間の短縮及び4本またはそれ以上のエッジに対応するsnakeに対するそれぞれの影響を考慮した拘束条件の利用が挙げられる。

## 参考文献

- [1] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos: "Snakes: Active Contour Models", *Int'l J. of Computer Vision*, Vol. 1, No. 4, pp. 321–331 (1988)
- [2] 二宮芳樹, 高橋新, 太田允彦: "高速パターン照合手法を利用したレーン認識システム", 信学論 (D-II), Vol. J86-D-II, No. 5, pp. 625–632 (2003-5)
- [3] 八木康史, マイケルブラディ, 川崎剛照, 谷内田正彦: "道路追跡と3次元道路形状復元のための動的輪郭道路モデル", 信学論 (D-II), Vol. J84-D-II, No. 4, pp. 1597–1607 (2001-8)
- [4] H. Sawano and M. Okada: "A Road Extraction Method by an Active Contour Model with Inertia and Differential Features", *IEICE Trans. Inf. Syst.*, Vol. E89-D, No. 7 (to appear, Jul. 2006)
- [5] 澤野弘明, 岡田稔: "Snakeを用いた道路両端白線の両エッジ追跡", 信学技報, PRMU2005-299, pp. 265–270 (2006-3)
- [6] 澤野弘明, 岡田稔: "拡張現実感技術を用いた次世代カーナビのための道路端抽出法", 情処研報, 2004-CG-117, Vol. 2004, No. 121, pp. 103–108 (2004-11)