

実画像における Snakes による道路両端白線の両エッジ追跡法

澤野弘明

岡田 稔

早稲田大学大学院情報生産システム研究科

1 はじめに

本稿では動的輪郭モデル snake[1] を利用した、実画像における道路両端白線の両エッジ追跡について述べる。本稿ではカーブなどのトポロジ的に直線と同じ道路を直線道路とし、追跡対象とする。道路シーンの道路白線には、道路両端を対にしたときに内側と外側に物理的なエッジが合計 4 つ存在する (図 1)。これまでの道路エッジ追跡に関する研究 [2, 3] では、片側のエッジのみ、もしくはエッジではなく、幅を持つ道路白線内を不安定に追跡している。そこで筆者らは道路両端白線の両エッジを同時に追跡する手法 [4, 5] を提案した。これまでの筆者らの報告 [4, 5] では、三次元 CG 動画像を用いた実験結果のみを定量評価しており、実画像に対しては主観評価のみであった。そこで実画像に提案手法を適用した実験結果に対して定量評価をする。また道路白線のエッジ追跡失敗例から今後の課題を示す。

2 Snakes による両エッジ同時追跡

提案手法は従来手法 [3] に基づいて設計され、snake の制御点のベクトル表現は $v_i = (x_i, y_i)$ として定義される。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。簡易的な手法として横方向の一階偏微分による手法が考えられるが、道路シーンの遠方のカーブなどでは横方向のベクトル勾配が小さいという問題点が挙げられる。そこで本研究における snake の画像エネルギーの計算には、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。正と負、横と縦の組み合わせに対応させた snake の画像エネルギー E_{x+} , E_{x-} , E_{y+} , E_{y-} を (1)~(4) 式に示す。

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

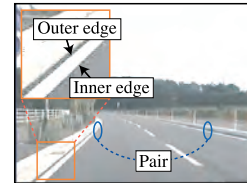


図 1: 道路白線の内側と外側のエッジ

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

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

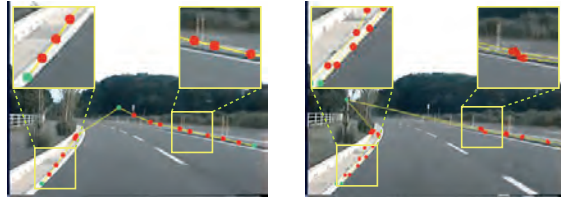
$$E_{y+}(v_i) = \begin{cases} -w_{\text{image}} G_{\sigma} D_y I(v_i) & : D_y I(v_i) \geq 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

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

ここで w_{image} , G_{σ} , ∇ , I は、それぞれ重み係数、標準偏差 σ 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。道路白線のエッジに対応させたエネルギーは、制御点 v_{i-1} , v_i による線分と x 軸のなす v_{i-1} 中心の反時計回りの角によって選択される [4]。一方、消失線付近を移動する制御点は、本来、消失点、すなわち無限遠点に対応することが望ましい。そこで複数の snake の消失点に対応させた制御点を統一して扱う。また直線道路両端の全てのエッジは交差しないという仮定に基づき、snake 間が交差ないように制御点を収束させる。

3 実験と考察

時速 50[km/h] で走行中に撮影した実画像に対して道路白線追跡実験を行う。画像サイズは 640×480 [pixel] である。実験には RedHat Linux + gcc, Athlon MP 2200+ dual 環境で行い、 G_{σ} のサイズは 51×51 [pixel], $\sigma = 17$ [pixel] とした。Snake の制御点の探索範囲は $[-5, 5] \times [-5, 5]$ とし、収束条件は全ての制御点の移動距離の平均値が 1[pixel] 以下になったときとした。従来手法による道路両端白線追跡結果と、提案手法による道路両端白線の両エッジ追跡結果を図 2 に示す。澤野らによる評価方法 [6] による実験結果の比較を表 1 に示す。それぞれの評



(a) former method (b) proposed method

図 2: 従来手法と提案手法による実験結果
Fig. 2: Experimental results by the former and proposed methods

表 1: 従来手法と提案手法によるエッジ追跡結果の比較 (図 2)

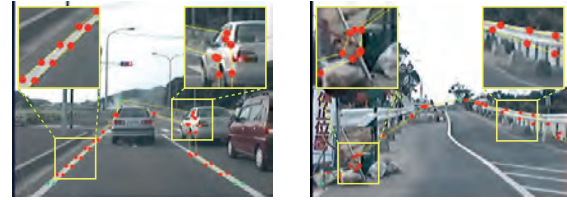
Tab. 1: Comparison of the results of tracking edges with the former and proposed methods (Fig. 2)

	E_{in}	E_{out}	\hat{f}_{ps}
former method	15.16	10.74	1.790
proposed method	15.84	-	0.810
(both edges)	-	13.67	

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 では、従来手法の外側のエッジ追跡精度が最も高いことが確認された。これは白線と路側帯の間隔が狭く、白線と路側帯のほぼ中心に白線の外側のエッジが存在したためであると考えられる。内側のエッジの追跡精度に対しては、従来手法と提案手法にあまり差はみられなかった。提案手法の実画像に対するロバスト性の向上は今後の課題である。また提案手法では処理時間を約二倍費やすという問題点も確認された。これは提案手法では従来手法に比べ snake の数を二倍に増やしたためである。

実画像に適用した道路両端白線の両エッジ追跡結果の失敗例を図 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多いため定量評価はしない。交差点手前に車輛が存在するシーン (図 3(a)) では、手前の道路両端白線の両エッジを追跡しているが、道路右側の 2 本の snake が周辺車輛のエッジを追跡している。道路幅一定という拘束条件を用いることにより対応する予定である。

道路工事現場を含むシーン (図 3(b)) では、道路白線のかすれ、障害物、不適切な位置の道路白線などが存在するため、道路白線のエッジ以外のノイズの追跡が確認された。またガードレールのように、道路白線と輝度値が近似しているエッジを誤追跡するという問題点も確認された。提案手法ではエッジの位置の輝度値のピークの符号に注目している。今



(a) intersection (b) traffic work zone

図 3: 提案手法による実験結果の失敗例
Fig. 3: Failure examples of experimental results by the proposed method

後の課題として、輝度値のピークだけでなく、道路白線と走行用道路の領域の色情報に着目した道路白線のエッジ追跡の検討が挙げられる。

4 おわりに

本稿では実画像における snakes による道路両端白線の両エッジ同時追跡法の実験結果を評価した。提案手法ではノイズ等を追跡してしまったため、従来手法に比べ追跡精度の低下が確認された。実画像におけるロバスト性の向上が今後の課題である。

実画像には道路白線が存在しない場合があるため、道路白線以外の道路エッジ追跡法の検討が挙げられる。また道路エッジだけでなく走行用道路領域の色情報を考慮した手法も今後の検討課題である。一方、本稿では直線道路のみをエッジ追跡対象としていたが、失敗例にも示したように道路形状には交差点、丁字路といった複雑な分岐形状が存在するため、それらの道路エッジの追跡も今後の課題である。

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] 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)
- [3] 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, pp. 2257-2267 (Jul. 2006)
- [4] 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)
- [5] 澤野弘明, 岡田稔: "4 本 Snake による道路両端白線の両エッジ追跡の検討", *FIT2006 第 5 回情報科学技術フォーラム*, I-051, pp. 127-128 (2006-9)
- [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*, Vol. 2004, No. 121, pp. 103-108 (2004-11)