

Snakeを用いた道路両端白線の両エッジ追跡

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
〒808-0135 北九州市若松区ひびきの2-7

E-mail: [†]burai@okada-lab.org, ^{††}mokada@waseda.jp

あらまし 本論文では動的輪郭モデル snake による道路シーンからの道路両端白線の両エッジ追跡のための一手法を提案する。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。これは道路シーンの画像を一階偏微分した結果に現れる正と負のピークに対応する。本研究では道路両端のそれぞれの白線に対する2本の snake が、目的別にピークの符号と一階偏微分の方向を考慮した画像エネルギーを使い分けることにより、選択的に内側と外側のエッジを追跡することに着目する。また上述した道路白線のエッジに対応した4本の snake を用いることにより同時に両エッジを追跡する。三次元 CG と実写の2つの道路シーンの動画像における実験により本手法の有効性を示す。

キーワード 道路白線, エッジ追跡, 動的輪郭モデル

Tracking Edges of Road White Lines by Snakes

Hiroaki SAWANO[†] and Minoru OKADA^{††}

^{†, ††} Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University
7 Hibikino-2 Wakamatsu-ku, City of Kitakyushu, 808-0135 Japan

E-mail: [†]burai@okada-lab.org, ^{††}mokada@waseda.jp

Abstract In this paper we propose a method to track edges of road white lines in a video by an active contour model, snake. In a road scene where the lines of both sides are paired, there are totally four physical edges of inner and outer of the road white lines. In a result of first order partial differential in the scene, positive and negative peaks appear and correspond to the edges. We focus on tracking the edges selectively by two snakes utilizing image energies considering the peaks and directions of first order differential. In addition, all edges of the white lines are tracked by four snakes corresponding to the edges. Experimental results indicate the availability of the proposed method to track the four edges in CG phantom and actual road scene videos.

Key words Road White Lines, Tracking Edges, Snake

1. はじめに

近年、カーナビゲーションシステム[1]や景観シミュレーションなどに三次元CG(3D-CG: three-dimensional computer graphics)が使用されている。3D-CGを利用することにより、円滑な案内や建築物が景観に与える評価などをすることができる。しかし、実際の風景を模擬するための詳細なモデリングデータを生成することは簡単ではなく、大きな人的、予算的コストが要求される[2]。そこで筆者らは拡張現実感技術を利用したカーナビゲーションシステム[1]への応用を目的としたコンピュータビジョン(CV: Computer Vision)技術による動画像からの道路エッジ追跡に関する研究[3]を進めている。本研究では車載カメラを用いてリアルタイムで実写動画像から道路

領域を推定するために、道路エッジ追跡が最重要課題である。道路エッジ追跡に関する研究は既にいくつか報告されている。代表的な戦略として、テンプレートマッチング[4]やHough変換[5]などを使用した道路エッジ追跡が挙げられるが、これらはあらかじめ用意された形状に依存するため、複雑な形状の道路に対応することが困難である。小島らは実写画像と地図情報を併用する手法[6]を提案している。これは画像の解像度の限界から生じる遠方のレーン形状推定誤差を地図情報によって補償するが、地図情報を利用する以上、未更新の地図情報では道路エッジ抽出は困難であると考えられる。しかし、画像以外の情報を利用することは有効な手法であると考えられる。毛利らはHough変換と拡張カルマンフィルタを用いた道路レーンマーカ追跡手法[7]を提案している。カルマンフィルタを用いること

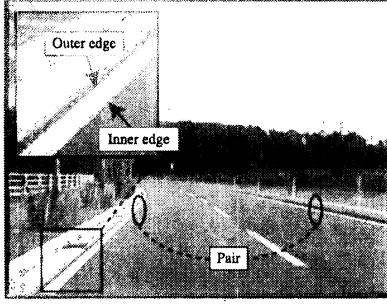


図1 道路白線の内側と外側のエッジ

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

により、画像情報だけでなく、車輛の動特性を利用できるため、カルマンフィルタと他の手法を組み合わせることにより、道路エッジの追跡精度、ロバスト性の向上が期待される。

本研究では物体に関する様々な知識をエネルギーとして定義し、物体の輪郭抽出問題をエネルギー最小化問題として扱うことができる動的輪郭抽出モデル (snake: active contour model) [8] を利用する。snake を利用することにより、カーナビに使用される入力情報を snake のエネルギーとして応用することを想定している。snake を利用した道路エッジ追跡に関する研究は既にいくつか行われている。大池は snake の制御点に対する横方向のみの移動という拘束条件による道路エッジ追跡法 [9]、また八木らは道路平行性を拘束条件とする手法 [10] を提案している。さらに、菅沼らはステレオビジョンシステムと snake を併用した手法 [11]、Wang らは B-Spline を利用した snake [12] を提案した。これらの手法では snake を動画像処理に適用させて道路エッジ追跡している。動画像処理を応用し、道路形状の微分特徴及びフレーム間の物体に生じる慣性を考慮した手法 [13] が Sawano らによって提案された。関連研究と本論文における提案手法はそれぞれが要素技術であり、それらを併用することで追跡精度、ノイズ等に対するロバスト性の向上が期待される。

道路エッジには、白線、歩道と車輛道路の境界など様々な物が存在するが、本研究では明瞭な道路エッジとして道路白線に着目する。また道路形状として直線道路を対象とする。さて、図1に示すように、道路両端を対にしたときに、道路白線には内側と外側の物理的なエッジが合計4つ存在する。上記で挙げた関連研究では、内側もしくは外側の一方のエッジを追跡している。本論文では、4つのエッジを選択的かつ同時に追跡するための snake の拘束条件を提案する。画像の一階偏微分を考慮した画像エネルギー、異なる snake 間の交差判定による拘束条件に着目する。道路両端白線の両エッジ追跡精度がそれぞれの snake の影響により向上することが期待される。三次元 CG のファントム動画像による道路白線追跡実験で提案手法の有効性を示し、実写動画像による実験により今後の課題を挙げる。

2. 道路追跡のための Snake

2.1 基本戦略

Kass らによって報告された snake [8] は、モデル自身の形状

を相対的に変形させる内部エネルギー E_{int} 、画像中のエッジにモデルを引きつける画像エネルギー E_{image} 、画像中の絶対的な位置に外部から強制的にモデルの形状を変形させる外部エネルギー E_{con} の3つのエネルギーの総和 E_{snake}^* が最小となるような状態を解とする手法である。長さのパラメータ $0 \leq s \leq 1$ による輪郭のベクトル表現を $v(s) = (x(s), y(s))$ として、エネルギー関数 E_{snake}^* は次式で定義される。

$$E_{\text{snake}}^* = \int_0^1 E_{\text{snake}}(v(s)) ds \quad (1)$$

$$E_{\text{snake}} = E_{\text{int}}(v(s)) + E_{\text{image}}(v(s)) + E_{\text{con}}(v(s))$$

パラメータ s は離散空間では制御点のインデックスを示す i として置き換え、制御点を $v(i) = (x(i), y(i))$ と表す。本手法では snake の計算手法として、Amini らのダイナミックプログラミングによるモデル [14] を用いる。

本研究では道路白線追跡のために微分特徴と慣性を考慮した Sawano らによって提案された手法 [13] (従来手法) を使用する。道路両端の白線のエッジ追跡のために2本の開曲線 snake を利用し、異なる拘束条件を持つ二種類の制御点を用いる。主制御点はトポロジモデルに基づいて大まかな道路形状を追跡し、副制御点は主制御点の影響を受けながら道路エッジ追跡をする。主制御点は副制御点の影響を受けながら (a) 消失線付近、(b) 画像端上を移動する。本論文では、主制御点 (a) の拘束条件について述べる。道路平面上の snake は、三次元シーンにおいてカメラの光軸と道路平面が平行であるという仮定に基づいて、 $v'(i) = (X(i), Z(i))$ と示される。また動画像を対象とするため、snake を動画像処理に適用し、現在のフレームの収束結果を次フレームの初期値として用いる。

2.2 内側と外側のエッジ追跡

従来手法 [13] の画像エネルギー E_{image} を (2) 式に示す。

$$E_{\text{image}}(v(i)) = -w_{\text{image}} G_{\sigma} |\nabla I(v(i))|, \quad (2)$$

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。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と負のピークが現れる。(2) 式ではベクトル勾配の絶対値を利用するため、道路白線の内側もしくは外側のピークを不安定に追跡する。そこで本論文では、ピークの符号を考慮し、白線の内側と外側のエッジを選択的かつ同時に抽出するための画像エネルギーを提案する。ここで、簡易的な手法として横方向のみの一階偏微分を考慮した手法が考えられるが、道路シーンの遠方にカーブもしくはS字カーブなどの横方向のベクトル勾配が小さい場合、正確にエッジを追跡できないという問題点が挙げられる。そこで本研究における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した画像エネルギー E_{x+} 、 E_{x-} 、 E_{y+} 、 E_{y-} を (3) ~ (6) 式に示す。

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

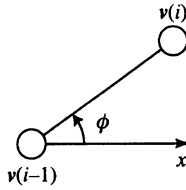


図 2 制御点 $v(i-1)$, $v(i)$ の線分と x 軸のなす角 ϕ
Fig. 2: Angle ϕ of a segment of control points to x axis

表 1 線分と x 軸方向のなす角度 ϕ を用いた画像エネルギーの選択
Tab. 1: Image energy selection using the angle ϕ of a segment to x axis

	Inner		Outer	
	Left	Right	Left	Right
$0 < \phi \leq \frac{\pi}{4}$	E_{y+}	E_{y-}	E_{y-}	E_{y+}
$\frac{\pi}{4} < \phi \leq \frac{3\pi}{4}$	E_{x-}	E_{x+}	E_{x+}	E_{x-}
$\frac{5\pi}{4} < \phi \leq \frac{7\pi}{4}$				
$\frac{3\pi}{4} < \phi \leq \pi$	E_{y-}	E_{y+}	E_{y+}	E_{y-}
$\pi < \phi \leq \frac{5\pi}{4}$	E_{y-}	E_{y-}	E_{y+}	E_{y+}
$\frac{7\pi}{4} < \phi \leq 2\pi$				

Origin of ϕ is $v(i-1)$.

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

$$E_{y+}(v(i)) = \begin{cases} -w_{\text{image}} G_{\sigma} D_y I(v(i)) : D_y I(v(i)) \geq 0 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$E_{y-}(v(i)) = \begin{cases} w_{\text{image}} G_{\sigma} D_y I(v(i)) : D_y I(v(i)) \leq 0 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

エッジに対応しているエネルギーは、画像平面の制御点 $v(i-1)$, $v(i)$ による線分と x 軸のなす $v(i-1)$ 中心の反時計回りの角 ϕ (図 2) によって選択される。2 本の snake が内側と外側のエッジを選択的に追跡するための ϕ による画像エネルギーの選択について表 1 に示す。論文 [13] の従来手法では、画像エネルギーの計算において、ガウシアンフィルタを画像全体に施していた。本論文では、処理時間の削減のために従来手法も含めて snake の探索範囲のみガウシアン操作する。

3. 両エッジの同時追跡

前節では道路両端の白線の内側と外側の物理的なエッジを選択的に追跡できる手法を述べた。本節では道路両端の合計 4 本のエッジを同時に追跡するための手法を提案する。

3.1 消失線付近の主制御点の拘束条件

消失線付近を移動する主制御点は、本来、消失点、すなわち無限遠点の位置に存在し、snake の形状を大まかに決定するという重要な役割を持つ。提案モデルでは、道路両端を対にする

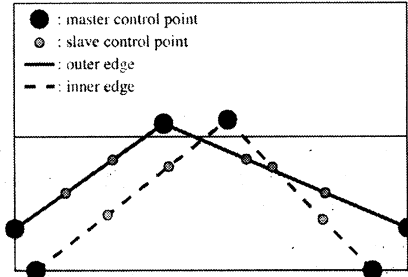


図 3 エッジの同時白線追跡における悪いトポロジ関係の例
Fig. 3: Example of bad topology relationship of tracking edges simultaneously

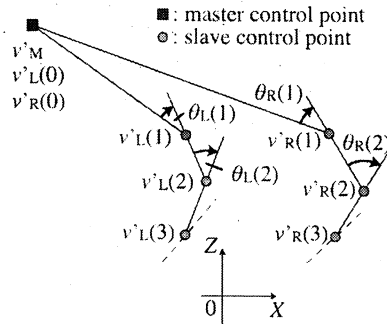


図 4 上面図における両側のセグメント間の外角
Fig. 4: External angles between two segments of two sides in top view

ため、2 本の snake に対して共通の位置に主制御点を設定している。そのため 4 本の snake を扱う場合、消失線付近を移動する主制御点が 2 つ存在し、仮の消失点が定まらないという問題点が挙げられる (図 3)。また、内側のエッジに対応する snake が外側に移動し、トポロジ的に正確ではない。そこで 4 本の snake に対する 2 つの主制御点を強制的に統一する。

主制御点が消失点に対応するためには、副制御点が追跡した道路形状の延長に存在することが望ましい。そのため、主制御点の内部エネルギーには、主制御点から近い左右のそれぞれ 2 つずつの副制御点を利用して計算する。主制御点 v'_M と近隣の副制御点の関係を図 4 に示す。それぞれの制御点からなる隣接線分の外角が一定になるようなエネルギー関数 $E_{\text{int},v}(v'_M)$ を (7) 式のように定義する。

$$E_{\text{int},v}(v'_M) = |\theta(v'_L(1)) - \theta(v'_L(2))| + |\theta(v'_R(1)) - \theta(v'_R(2))| \quad (7)$$

$$\theta(v'(i)) = \arctangent(v'(i) - v'(i+1)) - \arctangent(v'(i-1) - v'(i)) \quad (8)$$

$$\arctangent(v'(i)) = \begin{cases} \tan^{-1} \frac{Z(i)}{X(i)} & : 0 \leq X(i) \\ \tan^{-1} \frac{Z(i)}{X(i)} + \pi & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

ここで制御点は消失線近辺を移動する主制御点から数えられ、 $v'_L(0) = v'_R(0) = v'_M$ である。また v'_L , v'_R の添字 L, R は左

右の snake を示す。上記のエネルギー関数 $E_{int,V}(v'_M)$ では 2 つの snake のみについて記述しているが、複数の道路エッジを追跡する場合は全ての snake に対して計算する。

本論文では、主制御点の位置を副制御点から決定するが、消失点の位置としては正確ではないと考えられる。そのため、他の CV 技術を利用して消失点を求め、主制御点の位置を決定することは今後の課題である。

3.2 Snake 間の交差判定

ノイズなどの影響によりそれぞれの snake が交差する可能性が考えられる。そこで本研究では、直線道路では以下の仮定に基づいて異なる snake 間で交差判定する。

- 直線道路両端の白線が交差しない
- 白線の内側と外側の道路エッジが交差しない

ここで交差判定には各制御点間の線分に注目する。本手法における snake の制御点は、探索範囲におけるエネルギーが最小の位置を収束点としている。それ故に他の snake と交差している位置については収束点としない拘束条件を用いる。

4. 実験と評価

4.1 三次元 CG 動画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、周辺車輛や木などのノイズを含まない三次元 CG ファントム動画画像を用いた実験を行う。三次元 CG 動画画像の作成には POV-Ray [15] を用いた。画像サイズは 640×480 [pixel] である。従来手法による白線追跡結果と、提案手法による内側と外側、両エッジの追跡結果を図 5~8 に示す。ここで、実験には同じ動画画像を用いているが、実験結果はフレームレートに依存するため、フレーム 1 以外は同一のシーンではない。

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。最初のフレームにおける制御点の初期位置は、目視による真値より約 30 [pixel] 内側とし、次のフレームからは前のフレームの追跡結果を利用する。また、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。

4.2 評価

目視判断による主観評価において、従来手法では白線の中心を追跡しているが、提案手法では白線の物理的なエッジを追跡しており、提案手法は従来手法に比べ道路白線のエッジ追跡精度が向上していることが確認された。また 4 本の snake を扱うことにより、両エッジを同時に追跡することができた。しかし、提案手法の結果において、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。本研究では、微分特徴を考慮した手法 [13] を利用してカーブの形状に対応しているが、ガウシアンにより周辺のエッジの影響を強く受けているため、これらの改善が今後の課題である。

実験結果を筆者らが提案した評価方法 [3] により、内側と外側の収束誤差 $\overline{E}_{in}$, $\overline{E}_{out}$ について定量評価する。さらに 1 フレームあたりの平均収束回数 C と処理時間 [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、 $\overline{E}_{in}$, $\overline{E}_{out}$, $\overline{S}$, $\overline{C}$,

表 2 道路両端白線のエッジ追跡結果の比較 (各 4 フレームの平均値)

Tab. 2: Comparison of tracking edges of road white lines (average of 4 frames)

	$\overline{E}_{in}$	$\overline{E}_{out}$	$\overline{S}$	$\overline{C}$	fps
former method	6.70	5.22	0.03	6.4	3.389
proposed method (inner)	4.21	—	0.01	18.1	3.090
proposed method (outer)	—	4.30	0.02	18.9	4.046
proposed method (both edges)	4.70	—	0.03	11.2	1.824
	—	3.02	0.02		

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

S : Smoothness value

C : Iteration count

fps: Frame rate

fps による、各実験方法に対する評価を表 2 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 2 より、滑らかさの尺度 $\overline{S}$ に関しては大きな差は現れていないが、収束誤差 $\overline{E}_{in}$, $\overline{E}_{out}$ について、提案手法の有効性が従来手法に比べ顕著に現れた。また、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、二倍の処理時間を費やした。これは snake の制御点数が二倍に増えたため、ガウシアン操作の計算が二倍に増加したためである。

4.3 実写動画画像による道路白線追跡実験

ファントム実験により、提案手法の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。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] 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 9 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、実写動画画像の定量評価はしない。

4.4 考察

画像の一階偏微分の結果に現れるピークと方向を考慮した画像エネルギーを利用することにより、白線の内側と外側のエッジを選択的に追跡することができ、従来手法に比べ道路白線のエッジの追跡精度が向上した。また、4 本の snake を利用することにより、道路両端白線の両道路エッジを同時に追跡することができた。しかし、遠方のカーブや明瞭な道路白線が存在しない場合、周辺車輛のエッジなどのノイズを含む場合ではロバスト性が高くないことが確認された。

実写動画画像の実験結果において、車輛や木の影などのエッジが存在しないシーン (図 9(a)) では、道路左側の白線の両エッジを追跡できているが、道路右側では、中央分離帯の影を追跡している。これは、白線と道路の輝度差に比べ、影と白線の輝度差が大きいためであると考えられる。そのため、今後の課題として白線のエッジ強調が挙げられる。図 9(b) では、図 9(a) 同様に道路右側の中央分離帯の影を追跡しており、ある制御点は対向車輛のエッジを追跡している。道路右側の白線の外側

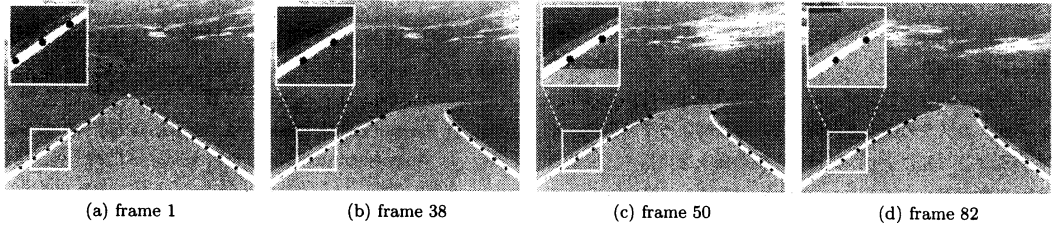


図 5 ファントム 3D-CG 動画像のための従来手法による実験結果

Fig. 5: Experimental results of the former method for a phantom 3D-CG video

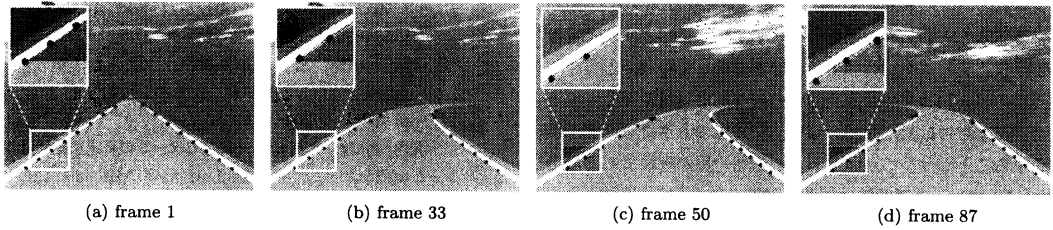


図 6 ファントム 3D-CG 動画像のための道路両端白線の内側のエッジ追跡結果

Fig. 6: Experimental results of inner road edge tracking by proposed method for a phantom 3D-CG video

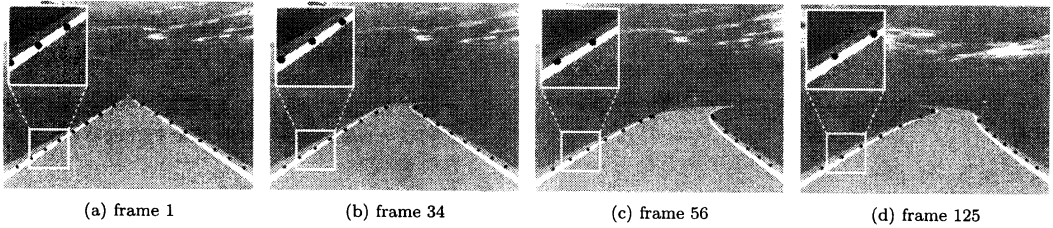


図 7 ファントム 3D-CG 動画像のための道路両端白線の外側のエッジ追跡結果

Fig. 7: Experimental results of inner road edge tracking by proposed method for a phantom 3D-CG video

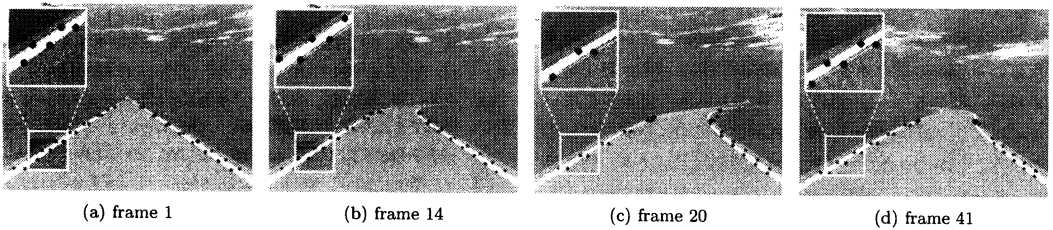


図 8 ファントム 3D-CG 動画像のための道路両端の両エッジ追跡結果

Fig. 8: Experimental results of the edges tracking by the proposed method for a phantom 3D-CG video

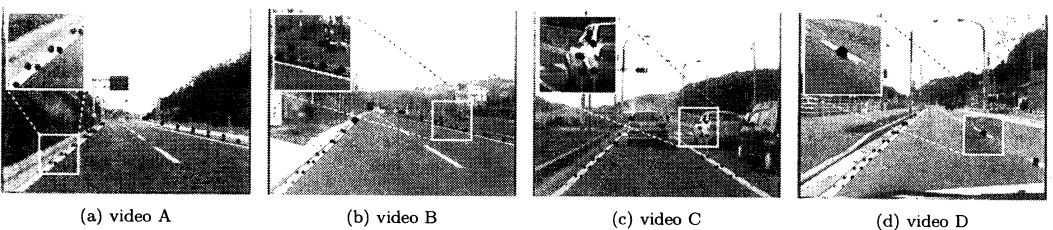


図 9 実写動画像のための提案手法による実験結果

Fig. 9: Experimental results by the proposed method for actual road videos

の snake の形状のみを補正するために、白線の幅が一定とする拘束条件を用いて対策する予定である。また遠方では、道路白線の領域が小さくなるという問題点が挙げられる。現在の提案手法では、ガウシアンフィルタのマスクサイズを固定で扱っているが、カメラの原点と制御点との距離によってマスクサイズを変更することにより、ロバスト性の向上を目指す。交差点手前に車輦が存在するシーン (図 9(c)) では、道路右側の 2 本の snake が車輦のエッジを追跡している。上記で述べた白線の幅以外に道路幅一定という拘束条件を用いることによりロバスト性を向上させる。また周辺車輦の影響としてエッジの隠蔽が考えられる [16]。関連研究で挙げた地図情報を使用する手法 [6] と併用することにより、死角に存在するエッジ推定する予定である。また交差点を走行中では白線が連続していないという問題点がある。本論文では直線道路の白線を追跡対象としているため、交差点には対応していない。交差点のトポロジモデルに拡張することが今後の課題である。道路白線が破線である場合 (図 9(d)) では、白線領域に制御点が集まり、正確に追跡できていない。図 9(a), (b) では、道路白線の破線が存在するが、片側車線の連続した道路白線を追跡していた。(d) の場合、破線のエッジの強度が連続したエッジに比べ強いためであると考えられる。道路白線の破線を追跡する拘束条件の検討が今後の課題である。

実写画像で道路エッジを追跡するためには、様々な外乱やノイズ等を想定しなければならない。これらの解決は今後の課題である。

5. おわりに

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。画像を一階偏微分したときに現れる正と負のピークと横と縦の両方向を考慮した 4 つの画像エネルギーを、目的別に使用することにより選択的にエッジを追跡することができた。道路両端の両エッジに対応するために snake の数を 4 本にし、消失線近辺を移動する主制御点の統一、異なる snake 間の交差判定という拘束条件を用いることにより、道路白線の内側と外側の全てのエッジを同時に追跡することができた。さらに、定量評価においても、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が向上した。しかし 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。また、主制御点の位置精度の向上が目視判断により確認されたが、消失点としては正確ではない。そのため、他の手法による主制御点の位置決定法が今後の課題である。

本論文では道路シーンにおいて白線のような明瞭な道路エッジが存在する動画像を想定している。しかし、実際の道路シーンでは、破線や白線の欠落などの不明瞭な道路エッジだけでなく、周辺車輦などのノイズなどを含んでいる。よってそれらに対してロバストな道路エッジ追跡が今後の課題である。また、関連研究で挙げたように、画像以外からの情報を利用することは、ロバスト性向上のための非常に有用な技術である。本研究は次世代カーナビへの応用を想定しているため、地図情報や

ジャイロからの姿勢情報などの利用も検討している。さらに、snake の課題として、最適なパラメータチューニングが挙げられる。

文 献

- [1] H. Sawano and M. Okada: "A Car-navigation System based on Augmented Reality", *Sketches of ACM SIGGRAPH 2005: 32nd Int'l Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 1 page, (Aug. 2005)
- [2] Z. Zhang, J. Wu, Y. Zhang, Y. Zhang and J. Zhang: "Multi-view 3D City Model Generation with Image Sequences", *Proc. of the ISPRS Workshop on Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives*, Vol. XXXIV-5/W12, pp. 351-356 (Jul. 2003)
- [3] 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)
- [4] 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)
- [5] J. B. McDonald: "Application of the Hough Transform to Lane Detection and Following on High Speed Roads", *Proc. of the Irish Machine Vision and Image Processing Conf.*, 6 pages. (Sep. 2001)
- [6] 小島祥子, 山田啓一, 二宮芳樹: "地図と画像の融合によるレーン形状推定手法の提案", 情処論, Vol. 42, No. 12, pp. 3194-3200 (2001-12)
- [7] 毛利宏, 白土良太, 古性裕之, 永井正夫: "拡張カルマンフィルタを用いた車線追従制御の検討", 自動車技術会論文集, Vol.33, No.3 (2002)
- [8] 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)
- [9] 大池達也: "モデルベースの認識手法による道路白線認識", 信学技報, PRMU99-211, pp. 53-61 (2000-1)
- [10] 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)
- [11] 菅沼直樹, 藤原直史, 泉田啓: "ステレオビジョンシステムと動的輪郭モデルを用いた高速道路におけるレーンマーカ検出", 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 70, No. 700 (2004-12)
- [12] Y. Wang, E. K. Teoh and D. Shen: "Lane Detection and Tracking using B-Snake", *Image and Vision Computing*, Vol. 22, No. 4, pp. 269-280 (Apr. 2004)
- [13] H. Sawano and M. Okada: "Road Extraction by Snake with Inertia and Differential Features", *Proc. of ICPR2004 - 17th Int'l Conf. on Pattern Recognition*, Vol. 4, pp. 380-383, Cambridge/UK (Aug. 2004)
- [14] A. A. Amini, S. Tehrani and T. E. Weymouth: "Using Dynamic Programming for Minimizing the Energy of Active Contours in the Presence of Hard Constraints", *Proc. of ICCV'88 - 2nd Int'l Conf. on Computer Vision*, pp. 95-97 (1988)
- [15] "POV-Ray", <http://www.povray.org/>
- [16] 澤野弘明, 馬場吉史, 中村長生, 岡田稔: "実写画像を利用したカーナビゲーションシステムの基礎検討", 情処研報, 2002-CG-108-8, pp. 43-48 (2002-8)