

道路の複数エッジ同時追跡のための Snake間の交差禁止処理による収束点の決定法

A Decision Method of Convergence Points with Cross Prohibition between Snakes for Simultaneously Tracking Plural Road Edges

澤野弘明^{†,††}岡田 稔^{††}Hiroaki SAWANO^{†,††} Minoru OKADA^{††}

1 はじめに

自動車の自動操縦や次世代カーナビゲーションシステム(以下、カーナビ)の表示法[1]への応用を目的として、車載カメラを用いた道路環境認識、特に道路エッジ追跡に関する研究が盛んに行われている。一般的な道路シーンには、白線、歩道と車道の境界など、様々な道路エッジが存在する。道路白線は車道領域に対して輝度差が大きいため、本研究ではその境界線を道路エッジとする。特に直線道路にカーブなどのトポロジ的に等価な道路も含めて追跡対象とする。道路両端に白線が存在する場合、それらを対にしたときにそれぞれの白線に対して内側と外側の物理的なエッジが合計4本存在する。従来の内側もしくは外側のみの道路エッジ追跡法[2, 3, 4]に対して、筆者らは動的輪郭モデル snake (active contour model)[5]によりその4本の道路エッジを同時に追跡する手法[6]を提案した。本稿では直線道路においてエッジの位置関係が不変であることに着目し、複数の snake 間の交差禁止処理による収束点決定法を提案する。また道路白線の追跡実験を行い、提案手法の有効性を示す。

2 Snake 間の交差禁止処理による収束点決定

これまでに筆者らは、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(主制御点, 副制御点)を用いた直線道路のエッジ追跡法[4, 6](以下、従来手法)を提案した。主制御点は副制御点の影響を受けながら、(a)消失点、(b)画像端、に対応して大まかな道路形状を推定する。それに対して副制御点は主制御点間を補間するように配置され、主制御点の影響を受けながら道路エッジを追跡する。ここで m 個の制御点を持つ、 n 本中の i 番目の snake S_i ($0 \leq i \leq n-1$) における制御点は $v_{i,j} = (x_{i,j}, y_{i,j})$ ($0 \leq j \leq m-1$) としてベクトル表現される。また、消失点に対応する n 個の主制御点を1個に統一し、 $v_M (= v_{i,0}, V_i)$ として表す。本研究では、複数の道路エッジを追跡対象としているため、1本の snake がノイズを追跡した場合、他の snake と交差もしくは位置関係が入れ替わり、目的と異なる道路エッジを誤って追跡し続ける可能性が考えられる。そこで交差禁止処理により snake の移動範囲を制限することにより、ノイズを追跡した場合においても、従来手法に比べて再び目的の道路エッジを追跡できることが期待される。また、本研究では複数の snake の位置関係を利用して、道路幅や白線

幅を一定とする拘束条件の利用を検討しているため、目的のエッジに対応した snake の位置関係が変更された場合、拘束条件に矛盾が生じる。そこで snake 間が交差しないように制御点を収束させるために、道路白線とその

```

logical function CrossCheck( $v_1 = (x_1, y_1), v_2 = (x_2, y_2)$ ,
 $S_k = \{v_{k,0} = (x_{k,0}, y_{k,0}), \dots, v_{k,m-1} = (x_{k,m-1}, y_{k,m-1})\}$ )
for  $h \leftarrow 0$  to  $m-2$  do begin
  if  $x_1 \geq x_2$  then
    if  $((x_1 < x_{k,h}$  and  $x_1 < x_{k,h+1})$  or
 $(x_2 > x_{k,h}$  and  $x_2 > x_{k,h+1}))$  then return false
  else
    if  $((x_2 < x_{k,h}$  and  $x_2 < x_{k,h+1})$  or
 $(x_1 > x_{k,h}$  and  $x_1 > x_{k,h+1}))$  then return false
  end if
  if  $y_1 \geq y_2$  then
    if  $((y_1 < y_{k,h}$  and  $y_1 < y_{k,h+1})$  or
 $(y_2 > y_{k,h}$  and  $y_2 > y_{k,h+1}))$  then return false
  else
    if  $((y_2 < y_{k,h}$  and  $y_2 < y_{k,h+1})$  or
 $(y_1 > y_{k,h}$  and  $y_1 > y_{k,h+1}))$  then return false
  end if
  if  $((x_1 - x_2)(y_{k,h} - y_1) + (y_1 - y_2)(x_1 - x_{k,h})$ 
 $(x_1 - x_2)(y_{k,h+1} - y_1) + (y_1 - y_2)(x_1 - x_{k,h+1})) > 0)$ 
    then
      if  $((x_{k,h} - x_{k,h+1})(y_1 - y_{k,h}) + (y_{k,h} - y_{k,h+1})(x_{k,h} - x_1)$ 
 $((x_{k,h} - x_{k,h+1})(y_2 - y_{k,h}) + (y_{k,h} - y_{k,h+1})(x_{k,h} - x_2)) > 0)$ 
        then return false
      end if
    end if
  end for
return true
end function

procedure CrossProhibition( $v_1, v_2, S_i, S_{root} = \{S_0, \dots, S_{n-1}\}$ )
for  $l \leftarrow 0$  to  $p$  do begin
  flag  $\leftarrow$  true,  $s \leftarrow 0$ 
  for  $k \leftarrow 0$  to  $n-1$  do begin
    if  $((S_i = S_k)$  or  $(\text{true} = \text{CrossCheck}(v_1 + a_i, v_2, S_k)))$ 
      then flag  $\leftarrow$  false, break
    end for
    if (flag=true) then
       $q \leftarrow E(v_1 + a_i)$ 
      if  $((t = \text{NULL})$  or  $(t > q))$  then  $t \leftarrow q, s \leftarrow l$ 
    end if
  end for
   $v_1 \leftarrow v_1 + a_s$ 
end procedure

procedure Convergence ( $S_{root} = \{S_0 = \{v_{0,0}, \dots, v_{0,m-1}\},$ 
 $\dots, S_{n-1} = \{v_{n-1,0}, \dots, v_{n-1,m-1}\}\}$ )
do begin
  for  $i \leftarrow 0$  to  $n-1$  do begin
    CrossProhibition( $v_{i,m-1}, v_{i,m-2}, S_i, S_{root}$ )
    for  $j \leftarrow m-2$  to 1 do begin
      CrossProhibition( $v_{i,j}, v_{i,j+1}, S_i, S_{root}$ )
    end for
    MoveMasterControlPoint ( $v_{i,0}$ )
  end for
  while Condition( $S_{root}$ ) = false
end procedure

```

図1 Snake間の交差禁止処理を利用した収束点決定
Fig. 1: A Decision of convergence points with cross
prohibition between snakes

[†] 日本学術振興会特別研究員

[†] JSPS Research Fellow

^{††} 早稲田大学大学院情報生産システム研究科

^{††} Graduate School of IPS, Waseda University

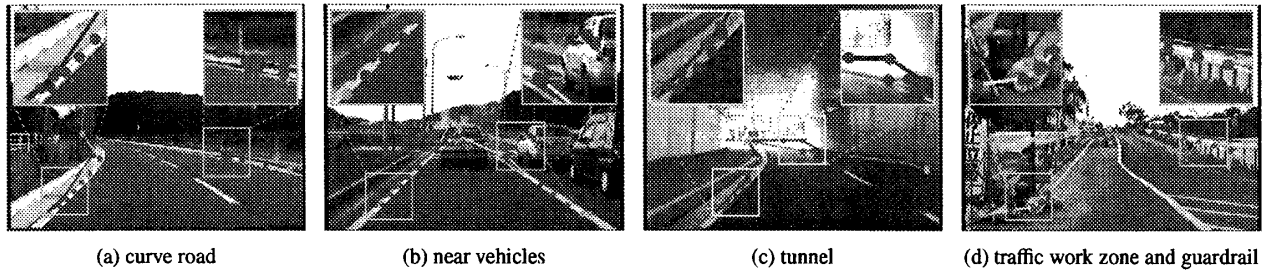


図2 実写動画を用いた提案手法による実験結果 (動画の一部)

Fig. 2: Experimental results by the proposed method with actual road videos (a frame in the video)

エッジ間には以下の関係を仮定する。

- 直線道路両端の白線は交差しない。
- 白線の内側と外側のエッジは交差しない。

以上の交差禁止条件を利用した収束点決定のアルゴリズムを図1に示す。まず、 $v_{i,j}$ の p 近傍内の探索範囲 $a_l = (x_l, y_l)$ ($0 \leq l \leq p$, $a_0 = (0, 0)$) による $v_{i,j} + a_l$ と隣接制御点 $v_{i,j+1}$ による線分と、 S_i と異なる snake S_k ($0 \leq k \leq n-1, k \neq i$) の全ての隣接制御点間の線分の交差判定をする (CrossCheck)。注目線分が交差せず、かつエネルギー (E) が最小となる位置に $v_{i,j}$ を移動させる。これを snake 間の交差禁止処理とする (CrossProhibition)。また画像端を移動する主制御点 $v_{i,m-1}$ の場合は、 $v_{i,m-1} + a_l$ と $v_{i,m-2}$ による線分の交差禁止処理をする。一方、消失線付近の主制御点 $v_{i,0}$ は、前節の拘束条件により $v_M = v_{i,0} = v_{k,0}$ であるため $v_{i,0} + a_l$ と $v_{i,1}$ による線分は、他の線分と交差している。そこで $v_{k,0}$ を一端とする線分との交差判定をスキップし、 $v_{i,0}$ を移動させる (MoveMasterControlPoint)。これらの処理を全ての snake $S_{\text{root}} = \{S_0, \dots, S_{n-1}\}$ が収束条件 (Condition) を満たすまで続ける (Convergence)。ここで初期フレームにおいて、 v_M とその隣接制御点による線分以外は交差ないように配置しておく。

3 実験と考察

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、あらかじめ撮影した実写動画に対して道路白線追跡実験を行う。画像サイズは 640×480 [pixel] とする。Snake の本数を $n=4$ 、1本の snake の制御点数を $m=10$ 、縦横がそれぞれ $[-5, 5]$ の $p=120$ 近傍の探索範囲を用いた。またジャイロセンサから姿勢情報が得られていると仮定し、 v_M の移動範囲を限定するための拘束条件として、カメラの光軸角度を入力した。様々な条件で撮影された実写動画を用いた実験結果を図2に示す。ここで主制御点を緑色、副制御点を赤色で示す。図2の結果では提案した拘束条件により、snake 間で交差することなく道路エッジを追跡することができた。しかしノイズ等の影響により道路エッジを追跡できていない結果が確認された。以下に問題点とその対策を示す。

図2(a)では snake の画像エネルギーにおける遠方のエッジの強度が小さいため、道路右側の2本の snake の制御点が一部に集まっている。そこで制御点間隔を一定とする拘束条件により遠方の道路エッジに対応する。図2(b)では snake が周辺車輛のエッジを追跡している。白線の

幅や道路幅の考慮、すなわち各 snake の間隔一定という拘束条件を用いることによりロバスト性の向上を目指す。図2(c)のようなトンネルの出入り口付近では、輝度値差が大きいため、その境界を誤って追跡している。ダイナミックレンジの改善等の対策が必要である。図2(d)では障害物、白線のかすれ、ガードレールなどが存在し、白線以外のエッジの追跡が確認された。道路の色情報に着目した車道領域の識別などが必要である。

4 おわりに

本稿では道路の複数エッジ追跡のために異なる snake 間の交差禁止処理による収束点の決定法を提案した。実写動画を用いた道路白線追跡実験において、snake 間が交差することなく、道路両端白線の4本の道路エッジを同時に追跡することができた。複数の snake の位置関係を保つことにより、道路幅一定などの拘束条件を併用できると考えられる。しかし、現行手法のみでは道路白線以外のノイズも追跡してしまうという問題点も確認された。道路白線などの道路区画線は道路交通法 [7] により厳密に定められている。そのため、今後の課題として道路交通法を考慮した拘束条件を用いることにより、道路エッジ追跡結果に対するロバスト性を向上させる。

参考文献

- [1] 澤野弘明, 岡田稔: “車載カメラによる実時間画像処理とそのAR技術に基づく表示方式によるカーナビへの応用”, 芸術科学会論文誌, Vol. 5, No. 2, pp. 57–68 (2006-6)
- [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] 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)
- [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, pp. 2257–2267 (Jul. 2006)
- [5] 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)
- [6] 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”, 情処論, Vol. 48, No. 8, 6 pages (to appear, 2007-8)
- [7] 道路交通法: <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S35/S35H0105.html>