

3次元道路形状復元のための ステレオ動的輪郭モデルの提案

矢野 真也 八木 康史 谷内田 正彦
大阪大学大学院基礎工学研究科

将来的な知能自動車の自律走行や、運転者への運転支援のためには、前方道路の路面状況の把握が不可欠である。視覚情報処理の分野では、画像からこれらの情報を抽出するためにさまざまな研究がなされてきた。なかでも、既存の道路上で境界線に沿った走行をさせるための、道路境界線の抽出と3次元形状復元の手法については、多くの方法が報告されている。

本研究では、道路姿勢形状と消失点の関係に着目したステレオ動的輪郭モデルによる手法を提案する。本手法では、有バンク道路シーンで、道路追跡と3次元道路形状復元を行うことができる。

Stereo Active Contour Model for 3D Road Shape Reconstruction

Shinya YANO, Yasushi YAGI, Masahiko YACHIDA

Department of Systems and Human Science,
Graduate School of Engineering Science, OSAKA University

In this paper, we propose a method to solve the general problem of road tracking and 3D-road shape reconstruction for an intelligent vehicle. The method is based on active contour models (ACM). In many cases of practical interest, road boundaries are parallel and the width of the road is constant. For this reason, we can track the road region in stereo images and generate 3D-road model using stereo pairs of active contour models that are subject to a suitable parallelism constraint.

1 はじめに

進行方向前方の道路形状の理解は、自動運転や運転者への運転支援のための視覚情報処理技術として、これまで多くの研究がなされてきた[1,2,3]。代表的な研究としては、道路境界を直線で近似し、その直線の無限遠点から3次元道路形状を復元するWaxmanらの研究がある[4]。しかし、Waxman自らが指摘するように直線道路セグメントによる曲線道路の近似では推定誤差が大きいという問題があった。他の有名なシステムとしては、Pomerleauらが提案した道路境界線追跡システムRALPHが挙げられる[5]。このシステムは、仮説検証の方法により最適な道路形状を求めている。しかし、この手法によって得られる3次元道路形状はあらかじめ用意したモデルに限定されるため、詳細な道路形状は抽出できない。

一方、DeMenthonは、道路の中心線に直交し、かつ水平で長さ一定のセグメントの端点の軌跡を道路境界として表したゼロバンクモデル(片勾配のない幅一定のリボン状モデル)という道路モデルを提案し、車両直前の初期セグメントから進行方向奥方向へ繰り返し計算することで3次元形状を復元した[6]。この方法では逐次計算の際に誤差が蓄積し、視点から遠く離れるほど不正確になるという問題があったが、その後彼らはセグメント端点での左右道路接線を近似的に平行とすることで道路の各セグメントごとの3次元位置姿勢を独立に復元する方法を提案した[7]。これにより誤差の蓄積を避けることができるようになったが、個々に復元されたセグメント列から得られる全体としての道路形状は滑らかとは限らなかった。我々の研究室においても、単眼カメラで撮影した道路シーンから道路領域を発見・追跡すると同時にその3次元形状を復元することのできる道路表現モデルを提案している。このモデルでは、道路の平行性の関係を動的輪郭モデルの制約条件とすることで、安定に道路境界を追跡すると同時に滑らかで正確な道路形状を復元することができる。しかし、このモデルでは、片勾配のない幅一定の帯状の道路を対象としていたため片勾配がある道路に対しては、正確な道路形状の復元が行えなかった。又、カメラ視軸回りの回転運動がある場合も

同様に正確な復元を得ることができない。

そこで本研究では、より自由な道路形状である片勾配のあるリボン状の道路を対象とした道路表現のための動的輪郭モデルを提案する。このモデルでは、校正済みのステレオカメラから得られる画像対を対象画像とする。なお、片勾配のあるリボン状の道路とは、3つの姿勢角(pitch, yaw, roll)で現される道路形状である。

2 座標系の定義

2.1 システム構成と座標系の設定

本システムは、2台の車載カメラからなる。2つのカメラは、エピソード拘束が画像中で水平となるように平行に設置されている。本研究では、このようなシステムに対し、3つの3次元座標系を定義する。原点を両カメラの中心(等距離の位置)に設定するワールド座標系と、左右両カメラのレンズ位置を座標原点とした左右のカメラ座標系 Σ_L 、道路座標系 Σ_R (または、CP対座標系)である。各座標の設定については図2.2を参照されたい。ところで本研究においては、道路面が局所平面の連続であるとの考え方から、道路領域を無数の点対とそれを結ぶ線分によって扱うこととし、この点対をコントロールポイント(CP)点対と呼ぶことにする(図2.1参照)。前述のCP対座標系とは、このそれぞれのCP点対に対し、左右両カメラのレンズ位置を原点として設定したものである。

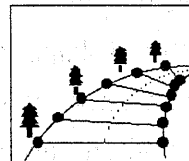
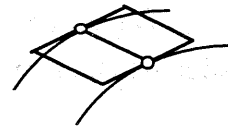


図2.1 局所平面とCP対による表現

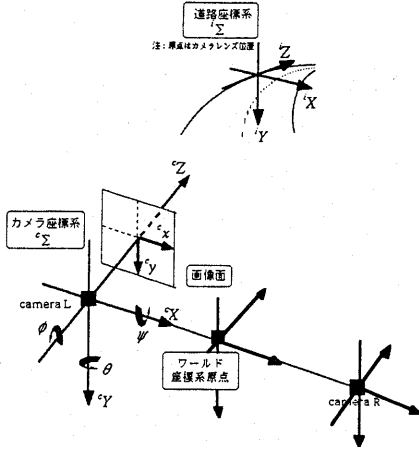


図 2.2 座標系の定義

2.2 座標系間の対応と回転行列

次に、前節で定義した座標系間の対応関係について述べる。まず、カメラ座標系 Σ_c で表された点 $(^cX, ^cY, ^cZ)$ の画像座標系への変換を考える。このとき、カメラの焦点距離を f とすると、この点の画像面への射影は、

$$\begin{cases} ^c x = \frac{^c X}{^c Z} f \\ ^c y = \frac{^c Y}{^c Z} f \end{cases} \quad (2.1)$$

となる。つぎに、カメラ座標系と道路座標系の対応関係を見ると、この2つは同じ原点位置を持ち、その回転は、注目CP対の姿勢角によって決定される。そして、その回転行列 R は、カメラ座標系 Σ_c における cZ 軸周りの右ねじ回転を $\text{roll}[\phi]$ 、 cX 軸周りの回転を $\text{pitch}[\psi]$ 、 cY 軸周りの回転を $\text{pan}[\theta]$ 、とおくと、次のようになる。

$$\begin{aligned} {}^cR &= \begin{bmatrix} {}^cR_{11} & {}^cR_{12} & {}^cR_{13} \\ {}^cR_{21} & {}^cR_{22} & {}^cR_{23} \\ {}^cR_{31} & {}^cR_{32} & {}^cR_{33} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\phi + \sin\theta\sin\phi\sin\psi & -\cos\theta\sin\phi + \sin\theta\sin\phi\cos\psi & \sin\theta\cos\phi \\ \cos\phi\sin\theta & \cos\phi\cos\theta & -\sin\phi \\ -\sin\theta\cos\phi + \cos\theta\sin\phi\sin\psi & \sin\theta\sin\phi + \cos\theta\sin\phi\cos\psi & \cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.2)$$

したがって、3つの座標系間の対応関係は

$$\begin{bmatrix} ^cX \\ ^cY \\ ^cZ \end{bmatrix} = {}^cR \begin{bmatrix} ^iX \\ ^iY \\ ^iZ \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ^cX \\ ^cY \end{bmatrix} \frac{f}{^cZ} \quad (2.4)$$

によって相互に関係づけられる。なお、これらの関係は左右各々のカメラ座標系で同じように成立する。

3 原理

3.1 消失点座標と姿勢角との関係

3.1.1 直線道路と消失点

ここでは、道路面における直線群と、それによって見いだせる消失点の関係を幾何学的な側面から説明する。任意の姿勢をとることができる道路面を考える(図3.1参照)。この道路の境界線 l_1 と l_2 のCP座標系での表現は、媒介変数 s と t を用いて

$$l_1 \begin{cases} ^iX = d_1 \\ ^iY = h \\ ^iZ = s \end{cases} \quad l_2 \begin{cases} ^iX = t \\ ^iY = h \\ ^iZ = d_2 \end{cases} \quad (3.1)$$

と表せる。この直線を、回転行列を用いてカメラ座標系に変換すると、 l_1 は

$$\begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{{}^cR_{11}d_1 + {}^cR_{12}h + {}^cR_{13}s}{\frac{{}^cR_{31}d_1 + {}^cR_{32}h + {}^cR_{33}s}{f}} \\ \frac{{}^cR_{21}d_1 + {}^cR_{22}h + {}^cR_{23}s}{\frac{{}^cR_{31}d_1 + {}^cR_{32}h + {}^cR_{33}s}{f}} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

と表せる。ここで、 $s \rightarrow \infty$ とすると、奥行き方向消失点座標は

$$\begin{bmatrix} x_{\text{roadboundary}} \\ y_{\text{roadboundary}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{{}^cR_{13}}{{}^cR_{33}} f \\ \frac{{}^cR_{23}}{{}^cR_{33}} f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \tan\theta \\ -f \sec\theta \tan\phi \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

となる。同様に、 l_2 からなる水平方向消失点は、 $t \rightarrow \infty$ とすると、

$$\begin{bmatrix} x_{\text{roadwidth}} \\ y_{\text{roadwidth}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{{}^cR_{11}}{{}^cR_{31}} f \\ \frac{{}^cR_{21}}{{}^cR_{31}} f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\cos\theta\cos\phi + \sin\theta\sin\phi\sin\psi}{-\sin\theta\cos\phi + \cos\theta\sin\phi\sin\psi} f \\ \frac{\cos\phi\sin\theta}{-\sin\theta\cos\phi + \cos\theta\sin\phi\sin\psi} f \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

となる。さてここで(3.3)式に注目すると、奥行き方向消失点座標は、 ψ と θ 、すなわちコントロール

ポイント点对の pitch,yaw 角のみに依存することがわかる。したがって、何らかの方法で画像上の消失点座標値 (x,y) を求めれば、(3.3) 式からそのコントロールポイント点对の pitch,yaw 角を逆算することができる。次に、水平方向消失点と、姿勢角の関係を表す式 (3.4) をみると、消失点は、pitch,yaw,roll 角に依存していることがわかる。したがって、水平方向消失点の座標値がやはり、何らかの方法で求めれば、(3.3) 式で推定した pitch,yaw 角を用いることで、roll 角を得ることができる。すなわち、pitch,yaw,roll を算出することができるわけである。2つの消失点座標の算出方法については、次節で述べる。

3.1.2 リボン状道路と消失点

本節では、バンク角も含むリボン状道路を想定した場合の、消失点座標値の求め方について示す。画像上で、道路の両境界線輪郭上で C P 対となる 2 点 が得られれば、それらの点で接線を計算すると、道路両側境界線の平行性の観点から、左右境界線の接線は一点で交わる。即ち、画像上でこの 2 接線を延長して、交点を求めれば奥行き方向消失点の座標値が算出できる (図 3.1 参照)。

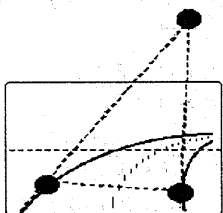


図 3.1 注目 C P 対の奥行き消失点

次に、水平方向消失点座標を表す式 (3.4) に注目する。この式の変形によって、x 成分の式から (3.5)、y 成分の式から (3.6) 式を得ることができる。

$$\tan \phi = \frac{f + x \tan \theta}{x \sin \phi - \tan \theta \sin \phi \cdot f} \quad (3.5)$$

$$\tan \phi = \frac{y \sin \theta}{y \cos \theta \sin \phi - \cos \phi \cdot f} \quad (3.6)$$

さらに、この 2 式からバンク角 ϕ を消去すると、

$$\frac{y \sin \theta}{y \cos \theta \sin \phi - \cos \phi \cdot f} = \frac{f + x \tan \theta}{x \sin \phi - \tan \theta \sin \phi \cdot f} \quad (3.7)$$

となる。ここで、コントロールポイント結合直線の式を

$$y = ax + b \quad (3.8)$$

とすると (CP 位置既知より, a,b は known) , この式 (3.8) と上式 (3.7) とから、水平方向消失点座標 (x,y) は、次のようになる。

$$x = \frac{-\cos \phi \cdot f^2 + b \{ \sin \theta \tan \theta \sin \phi \cdot f + \cos \theta \sin \phi \cdot f \}}{\cos \phi \tan \theta \cdot f - a \{ \sin \theta \tan \theta \sin \phi \cdot f + \cos \theta \sin \phi \cdot f \}} \quad (3.9)$$

$$y = \frac{-b \cos \phi \tan \theta \cdot f - a \cos \theta \cdot f^2}{\cos \phi \tan \theta \cdot f - a \{ \sin \theta \tan \theta \sin \phi \cdot f + \cos \theta \sin \phi \cdot f \}} \quad (3.10)$$

したがって、奥行き方向消失点から求める yaw,pitch 角を用いれば、水平方向消失点座標を得ることができる。このことを、模式的に表したのが、図 3.2 である。

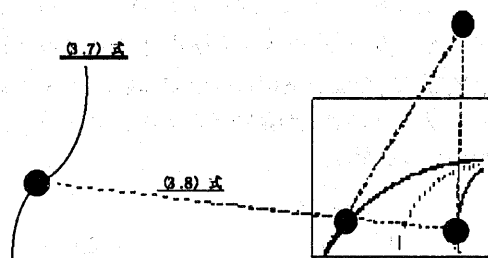


図 3.2 本手法による水平消失点の算出概念

3.1.3 両眼視における消失点の関係

前節では、正しい C P 対が求めれば、pitch,yaw,roll 角が推定できることを示した。本節では、両眼視の拘束により正しい C P 対が定まることを示す。まず、左右各画像の奥行き消失点座標は (3.3) 式より、各画像での姿勢角を用いて

$$\begin{bmatrix} x_{roadboundary-L} \\ y_{roadboundary-L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_{13}}{R_{33}} f \\ \frac{R_{23}}{R_{33}} f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \tan \theta_L \\ -f \sec \theta_L \tan \phi_L \end{bmatrix} \quad (3.3)'$$

$$\begin{bmatrix} x_{roadboundary-R} \\ y_{roadboundary-R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_{13}}{R_{33}} f \\ \frac{R_{23}}{R_{33}} f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \tan \theta_R \\ -f \sec \theta_R \tan \phi_R \end{bmatrix} \quad (3.3)''$$

とあらわせる。水平方向消失点座標は、(3.9)(3.10) より、

$$\begin{aligned}
X_{roadwidth_L} &= \frac{-\cos\varphi_L \cdot f^2 + b\{\sin\theta_L \tan\theta_L \sin\varphi_L \cdot f + \cos\theta_L \sin\varphi_L \cdot f\}}{\cos\varphi_L \tan\theta_L \cdot f - a\{\sin\theta_L \tan\theta_L \sin\varphi_L \cdot f + \cos\theta_L \sin\varphi_L \cdot f\}} \\
Y_{roadwidth_L} &= \frac{-b\cos\varphi_L \tan\theta_L \cdot f - a\cos\theta_L \cdot f^2}{\cos\varphi_L \tan\theta_L \cdot f - a\{\sin\theta_L \tan\theta_L \sin\varphi_L \cdot f + \cos\theta_L \sin\varphi_L \cdot f\}} \\
X_{roadwidth_R} &= \frac{-\cos\varphi_R \cdot f^2 + b\{\sin\theta_R \tan\theta_R \sin\varphi_R \cdot f + \cos\theta_R \sin\varphi_R \cdot f\}}{\cos\varphi_R \tan\theta_R \cdot f - a\{\sin\theta_R \tan\theta_R \sin\varphi_R \cdot f + \cos\theta_R \sin\varphi_R \cdot f\}} \\
Y_{roadwidth_R} &= \frac{-b\cos\varphi_R \tan\theta_R \cdot f - a\cos\theta_R \cdot f^2}{\cos\varphi_R \tan\theta_R \cdot f - a\{\sin\theta_R \tan\theta_R \sin\varphi_R \cdot f + \cos\theta_R \sin\varphi_R \cdot f\}}
\end{aligned}
\tag{3.9}', \tag{3.10}'$$

となる。ここで、左右画像において同じCP対を見ているとするならば、左右画像における姿勢角が一致する。したがって、上の(3.3)' (3.3)" (3.9)' (3.10)' より、各左右画像上での消失点座標は一致し、pitch, yaw, roll 角は推定可能となる(図3.4 参照)。ここで、もし別々に計算した消失点座標が一致しないのであれば、それは、道路両側のCP対位置対応が正しくないことになり、CP位置を補正する必要がある。これが両眼手法における消失点一致拘束である。

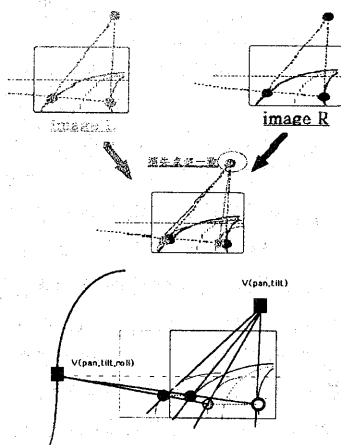


図3.3 左右画像の消失点の一致

3.1.3 CP対結合線と道路境界線の直交性

本手法では、前述の消失点一致拘束によって、CP位置の補正を行っていくわけだが、特殊なケースでは、CP位置対応が不正確であっても、左右画像間の消失点一致拘束をみたすことがある。その例として図3.4のような状況があげられる。模式図のシーンでは片バンクをもった道路が直線的に続いているものとする。このシーンにおいて、本来の正確なCP対位置対応は図3.4の左図の様である。ところが、このケースでは境界線が直線であ

るため、図3.4の右図の様に、CPが車線方向にずれたとしても、奥行き方向消失点座標が変化しない。従って、誤対応にもかかわらず、前述までの拘束だけでは矛盾が生じないこととなる。

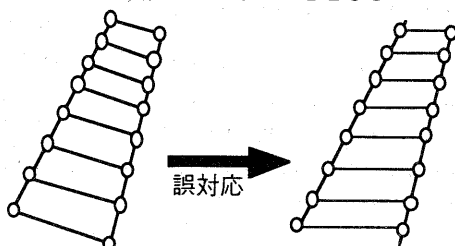


図3.4 消失点の誤対応

そこで本手法では、このような問題に対応するため、CP対結合線と道路境界線接線の直交性を保証するための拘束を考える。着目しているCP対線分に対し、現在のCP位置座標系の原点とCP対線分からなる平面の法線ベクトルを求める。次に各CP座標での接線とCP座標系原点からなる平面の法線ベクトルを算出する。これら二つの法線ベクトルの直交性を評価し、拘束として与えることで、CP位置対応の正当性を保証する(図3.5)。

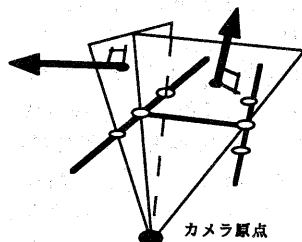


図3.5 直交性評価

3.2 輪郭のモデル化手法

本手法では、前節で述べた消失点の関係を、動的輪郭モデルで実現する。提案するモデルでは、左右画像でそれぞれ2本ずつ、計4本の動的輪郭モデルからなり、以下ではこれを”ステレオ動的輪郭モデル”と呼ぶこととする。

3.2.1 ステレオ動的輪郭モデルの定式化

一般に動的輪郭モデルでは、各種の拘束はエネルギーという形で扱われる。本手法では、Cohenのモデル(参考文献[1])を基本に、拡張したものを使う。本手法で提案するステレオ動的輪郭モデルは、Cohenのモデルに、消失点一致原理に基づいた、CP対対応関係正常化のためのエネルギー項

と道路の連続性からくる拘束エネルギーを付け加えることで構成される。具体的な定式化としては、

$$E = \int_0^1 (E_{\text{int}}(v) + E_{\text{img}}(v) + E_{\text{pres}}(v) + E_{CP}) ds \quad (3.13)$$

$$E_{CP} = E_{VP_depth} + E_{VP_horizon} + E_{smooth} + E_{vector_angle} \quad (3.14)$$

$$E_{VP_depth} = w_{VP_depth} \cdot \mathbf{n}_{cp}(i) \cdot \Delta X_{VP_depth} \quad (3.15)$$

$$E_{VP_horizon} = w_{VP_horizon} \cdot \mathbf{a}_{cp}(i) \cdot \Delta X_{VP_horizon} \quad (3.16)$$

$$E_{vector_angle} = w_{vector_angle} \cdot (\mathbf{e}_{CP} \cdot \mathbf{e}_{boundary}) \cdot \mathbf{a}_{boundary} \quad (3.17)$$

$$E_{smooth} = w_{roll_smooth} \cdot E_{roll_smooth} + w_{pitch_smooth} \cdot E_{pitch_smooth} + w_{yaw_smooth} \cdot E_{yaw_smooth}$$

$$\begin{cases} E_{roll_smooth} = (\Delta roll) \cdot s(s) \\ E_{pitch_smooth} = (\Delta pitch) \cdot t(s) \\ E_{yaw_smooth} = (\Delta yaw) \cdot u(s) \end{cases} \quad (3.18)$$

となる。(3.13)において、 E_{CP} が新たに付け加えたエネルギー項である。 E_{CP} は、 E_{VP_depth} 、 $E_{VP_horizon}$ 、 E_{smooth} 、 E_{vector_angle} の3つの項目からなる。

E_{VP_depth} は、奥行き方向の消失点を近付けるエネルギー項である。つまり注目CP対がなす奥行き消失点座標が左右画像間で食い違うとき、それを補正する方向にCPを動かすような力をもつ。CPを動かす方向 $\mathbf{n}_{cp}(i)$ は、画像中におけるCP対結合直線方向とする。これは、奥行き方向の補正によって、水平方向の消失点座標位置に、影響を及ぼさないためである。したがって、現在注目中のCPを動かす向きとしては、CP対結合直線の外側か内側ということになる。この方向は、もう一方の画像から計算した、奥行き消失点座標をもとに決定する。内側に、動かすケースについて図示すると、図3.4のようになる。

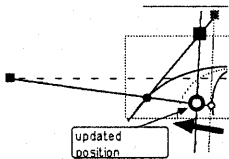


図3.6 奥行き消失点一致拘束による
CP位置補正

$E_{VP_horizon}$ は、水平方向の消失点を近付けるエネルギー項である。

図3.7を見るとわかるように、左右両画像において互いに消失点位置が近づくようにCP位置を補正していく。(ちなみに、この考え方は、奥行き

方向でも同様である。) 実際の補正方向 $\mathbf{a}_{cp}(i)$ であるが、奥行き方向と同様、もう一方の消失点位置(この場合は、奥行き消失点位置)が動かないようにCP位置を補正する。この場合は、車線接線方向となる。CPを下方向に動かすケースについて図3.8にあらわす。

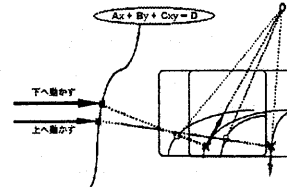


図3.7 水平方向消失点位置の相互誤差

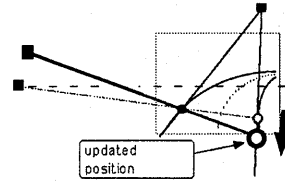


図3.8 水平方向消失点一致拘束による
CP位置補正

E_{vector_angle} は、CP対平面と境界線平面の直交性により、CP対を補正するエネルギー項である。 $\mathbf{e}_{CP}$ 、 $\mathbf{e}_{boundary}$ を各平面の法線方向の単位ベクトルとし、ベクトル積でこれを評価する。CP位置を動かす方向としては、境界線接線方向 $\mathbf{a}_{boundary}$ とし、その方向は、 $\text{sign}(\mathbf{e}_{CP} \cdot \mathbf{e}_{boundary})$ によって決定する。 E_{smooth} は、道路連続性拘束を満足させるためのエネルギーである。道路連続性とは、この場合、pitch, yaw, rollの各姿勢角の値が、連続性を保ちながら、滑らかに変化することを意味している。このエネルギー項により、前後のCP対がなす姿勢角と比較し、連続性が成り立たないものについてはその位置を補正する。上で述べた、 E_{CP} 中のそれぞれのエネルギー項は、Cohenのオリジナル動的輪郭モデル同様、各エネルギーの重要度を示す重みパラメータのもとで特徴づけられる。したがって、これらの重み係数の相対比率によって、種々の拘束を総合的に満たすための最適なバランスが与えられる。

4 実験

4.1 対象シーンと実験画像

実験用画像は、大阪府箕面のドライブウェイで

撮影した動画画像を、毎秒10フレームでサンプリングしたものを利用した。使用した画像は4シーン、各50フレームである。また、これとは別に、検定用の疑似バンクシーンを4シーン用意して実験した。その一例を図4.1に示す。

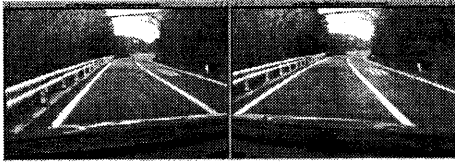


図 4.1 対象道路画像例

4.2 単一フレームでの収束例

図4.2は、ステレオ動的輪郭モデルによる、実道路境界線の収束例である。

図4.2の下段のグラフは、復元した姿勢角を左右で個別に表示させたグラフであり、縦軸はC P対の番号に対応している（手前のC P対が下側）。このグラフからは、前方道路の姿勢形状がうかがえる。グラフ中の3本の曲線（3つの系列）は、それぞれの姿勢角の状態をあらわしている。左側にある系列はyaw角の値を表しており、カーブによって、前方道路が左に切れていく様子がうかがえる。右側の系列は、pitch角の値を表している。この路面はtilt的には、ほぼフラットであるが、カメラには、（遠方道路が見えやすいよう）下向きに一定の俯角が与えられているので、登りtilt角がでている。真ん中の系列はroll角の状態を表しており、前方のバンク状況が見て取れる。ここでは、現在、カーブによってバンクしている路面上を走っており、前方直線形状部での戻しバンクの存在が確認できる。

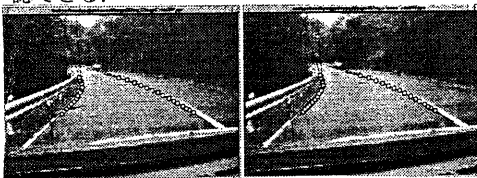
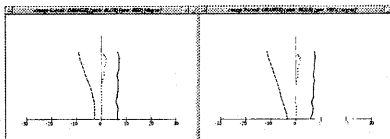


image L

image R



姿勢角グラフ [deg]

姿勢角グラフ [deg]

図 4.2 輪郭抽出と姿勢角復元

4.3 疑似バンクによる算出姿勢角の評価

本研究では、実道路における算出バンクの妥当性を検討するため、疑似バンクシーンを用いた実験を行った。図4.3は、疑似バンクシーンを表したものである。疑似バンクとは、カメラシステムを、平行性を保ったまま作為的に傾けることで、車軸周りの回転にオフセットを加えることである。

[疑似右バンク (roll 角 約 2.5 度)]

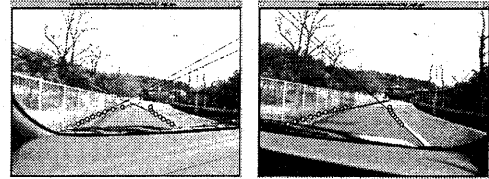
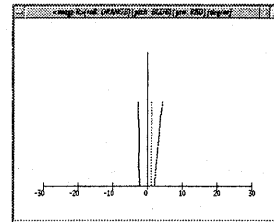


image L

image R



[疑似左バンク (roll 角 約 -2.5 度)]



image L

image R

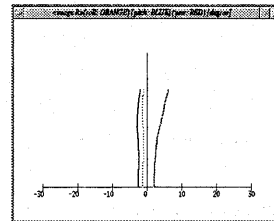


図 4.3 同一シーンによる疑似的な
左バンクと右バンク

図4.3において画像上から計算されるオフセットバンクは共に約 2.5[deg] 程度である。これは、

画像上の同一 2 点間線分の傾きを元に、オフセット 0 の状態で撮った画像上の線分との比較から、求めた値である。一方、姿勢角グラフを見ると左右両バンクシーンに於けるオフセットバンクが検出されている様子が確認できる。その大きさについてはそれぞれ、2[deg] 程度と読み取ることができる。本来のバンク角よりもやや少なく算出されるのは、初期 CP 位置設定を、画像上で y 軸（縦方向）等高に設定しているためである。このため、バンクが一定以上の時、本来の位置まで CP が収束しきれない。これはスネークの性質に因るものであるが、連続処理フレーム処理をさせた時に、前フレームでのバンク角情報を元にして、CP 初期位置設定をすることで改善されるとおもわれる。

5 終わりに

本研究では、ステレオ視による道路領域抽出を提案し、実験の結果、山道という、比較的姿勢形状が複雑な道路シーンにおいても、従来の単眼手法 [8] と同様、トラッキングが可能なことを確認した。また、疑似バンクシーンを用いて、バンク角の推定が行えることを確認した。

参考文献

- [1] L. Cohen and I. Cohen: "A fine element method applied to new active contour models and 3D reconstruction from cross sections", Proc. 3rd ICCV, pp.587-591, 1990
- [2] M.Kass, A.P Witkin, D.Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models", IJCV(1), 4, pp.321-331, 1988
- [3] Dickmanns. E.D, Mysliwetz, B.D. : "Recursive 3-D Road and Relative Ego-State Recognition", IEEE TRAN S.PAMI-14, pp 199 -213, 1992
- [4] A.M.Waxman, J.J Lemoigne, L.S.Davis, B. Srinivasan, "T.R.Kushner and E.Liang, A visual navigation system for autonomous land vehicle", IEEE J.Robotics and Automation, RA-3, 2, pp.124-141, 1987
- [5] D.Pomerleau, "RALPH: Rapidly adapting lateral position handler", Proc. Intelligent Vehicles, 1995
- [6] D.Dementhon, "A zero-bank algorithm for inverse perspective of a road from a single image", Proc.IEEE ICRA, pp.1444-1449, 1987
- [7] D.Dementhon and L.S.Davids, "Reconstruction of a road by local image matches and global 3D optimization", Proc.IEEE ICRA, pp.1337-1341, 1999
- [8] 川崎剛照, 八木康史, Michael Brady, 谷内田正彦, "道路追跡のための平行性拘束を持つ動的輪郭モデル", 2000-CVIM-120, pp.81-88, 2000
- [9] 小林哲也, 小澤慎治 "道路像解析における対応点の決定法", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J72-D-II, No5, pp.827-830, 1989
- [10] 丹波信行, 千葉昌考, 小澤慎治 "連続道路画像からの車両姿勢角の推定", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J75-D-II, No3, pp.490-499, 1992