

# Fast Level Set Method を用いた人体の 2次元, 3次元リアルタイム追跡

九州大学 岩下 友美, 倉爪 亮, 辻 徳生, 長谷川 勉  
福岡県工業技術センタ 原 健二

## 2D and 3D Realtime Tracking of Human Body using Fast Level Set Method

Yumi IWASHITA, Ryo KURAZUME, Tokuo TSUJI, and Tsutomu HASEGAWA

Kyushu University

Kenji HARA Fukuoka Industrial Technology Center

**Abstract:** This paper presents an efficient implementation technique for the level set method(LSM) named the Fast Level Set Method (FLSM). The LSM can handle changes in the topology of the evolving contour, but requires large calculation cost. The effectiveness of our algorithm is shown by experiments of realtime tracking of moving objects in video images and stereo range images.

### 1. はじめに

動的輪郭モデル (Active Contour Model) の代表的な手法である Snakes<sup>1)</sup> は, ノイズに対して頑強な 2 次元画像の境界追跡法である. その後, この手法を 3 次元に拡張した deformable surface<sup>2)</sup> が提案され, 3 次元点の集合からそれを内包する閉曲面を安定に抽出するための手法として, 幾何モデリングや領域追跡の分野で研究が進められてきた. しかし, 従来の動的輪郭モデルに共通して, 境界の分離や結合など位相変化への対応が困難であるということが問題とされていた.

これに対し, 本質的に位相変化が可能な動的輪郭モデルの手法として Level Set Method(LSM)<sup>3) 6)</sup> が提案されており, 移動体追跡<sup>4)</sup> や 3 次元幾何モデリング<sup>5)</sup> などの様々な分野で用いられている. しかし, 初期化や更新時の計算コストが高いという問題があるため, 計算の高速化が大きな課題である.

そこで本論文では高速で安定な Fast Level Set Method(FLSM) を提案し, その応用例としてビデオ画像上の移動物体のリアルタイム追跡, およびステレオカメラを用いた人体の 3 次元リアルタイム追跡を紹介する.

### 2. Level Set Method

2 次元 xy 平面上での LSM を用いた境界追跡法について説明する. 平面上の各点  $(x, y)$  において, 時刻  $t$  における補助関数  $\psi(x, y, t)$  を導入し, 境界位置  $C(x, y, t)$  は  $\psi(x, y, t) = 0$  を満たす  $(x, y)$  で表す. 次に,  $\psi$  についての偏微分方程式及びそれを離散化した差分方程式を以下のように定義する.

$$\psi_{i,j}^{n+1} = \psi_{i,j}^n - F(i, j) |\nabla \psi_{i,j}^n| \Delta t \quad (1)$$

ここで,  $(i, j)$  は xy 平面上のグリッド座標,  $\Delta t$  は時間ステップ幅であり,  $F$  は成長速度と呼ばれ, 単位時間あたりに法線方向に移動する量を示す. 式 (1) に従って  $\psi(x, y, t)$  を更新し,  $\psi(x, y, t) = 0$  として境界を求めることで, 位相の変化に対応した領域追跡が可能となる.

補助関数を更新する際, 更新と共に積分誤差が積算されるため, 安定な解を得るには一定回数更新後に各グリッドごとに補助関数の値を再計算する「再初期化」

の処理が必要である. この再初期化処理と成長速度場の構築では, 各グリッドにおいて最近傍境界の探索処理が必要となり, 計算コストが高い. そこで, 次節ではその高速化処理について述べる.

### 3. Fast Level Set Method の提案

#### 3-1 Fast Narrow Band Method(FNB)

FNB は, 距離情報を格納した参照マップ (Fig.1(a)) を用い, 最近傍点探索処理を数値の単純な上書き処理に置き換えることで, 高速化する手法である. 参照マップは, 原点からの 2 乗距離が  $r$  であるグリッドの集合を  $R_r$  とし,  $r = 0 \sim \delta(\delta + 1)$  (ただし,  $\delta > 0$ ) に対するリスト  $R_0, R_1, \dots, R_{\delta(\delta+1)}$  をそれぞれ作成する.

次に, 作成した参照マップを用いた成長速度場の構築について説明する. ただし, 境界における成長速度はあらかじめ決定されているとする. まず, リスト  $R_{\delta(\delta+1)}$  を用いて, ある境界から 2 乗距離が  $\delta(\delta + 1)$  であるグリッドを選択し, その境界に格納されている成長速度の値を選択されたグリッドに登録する. この処理を全ての境界に対して行う. 次に, 添字の値を 1 小さくして同じ処理を行い, これを添字の値が 0 になるまで繰り返す. これにより, 全ての処理が終了した時には, 各グリッドには最近傍境界点の成長速度が登録されている.

#### 3-2 Fast Level Set Method(FLSM)

FLSM は, 隣接するグリッドが境界点かどうかを調べ, その位置関係によって書き込む領域を限定することで, 前項の FNB をさらに効率化する手法である.

そこでまず, Fig.1(b) のように参照マップを原点からの方向により, A~F の 8 つの領域に分ける. ただし A, C, E, G を 4 近傍領域と呼び, B, D, F, H を 8 近傍領域と呼ぶことにする. 次に各境界点に対し, 次の手順により成長速度場を構築する.

1. 上下左右の 4 近傍を調べ, そこに他の境界上の点があるときは, その方向の 4 近傍領域を書き込まない領域とする. また同時に, その 4 近傍に隣接する 8 近傍領域も書き込まない領域とする.

- 斜め方向の近傍を調べ、そこに他の境界点があればその8近傍方向を書き込まない領域とする。
- (1),(2)で残った領域に対し、前節と同様にリストを用いて成長速度を書き込み、成長速度場を構築する。

一般に各境界点には隣接する境界点が存在するため、上記の手法を用いると、書き込みのオーバーラップを確実に減らすことができ、成長速度場をFNBよりもさらに高速に構築できる。

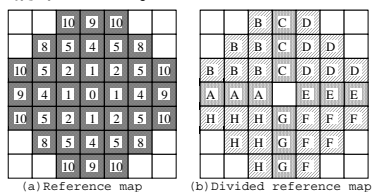


Fig.1 Reference map

#### 4. ビデオ画像上の移動物体のリアルタイム検出と追跡

実際のビデオ画像に対して提案したFLSMを適用し、移動物体の検出とリアルタイム追跡実験を行った。使用した画像のサイズ、入力速度はそれぞれ320x240pixel, 30Hz, 使用した計算機はPentium 2,2GHzであり、FLSMの処理は約60Hzで実行されている。

実験ではまず背景差分により移動物体の領域を大まかに検出し、検出した移動物体領域の中心から外側へ境界を進行させて、濃淡値が急激に変化する領域を移動物体の境界として検出、追跡した。

Fig.2に複数の移動物体を追跡した結果を示す。これより、移動物体が画面上を約100[pixel/sec.]で移動している場合でも、正確に移動物体の輪郭を抽出し、遅れなく追跡できていることがわかる。また、複数の移動物体が交差し分離している場合にも、当初2つの閉曲面で表されていた移動物体の境界が、移動物体が交差したことで1つの閉曲面に統合され、次の時刻で再度2つの閉曲面に分離しており、境界の位相変化に柔軟に対応できていることが分かる。



Fig.2 Simultaneous tracking of multiple objects.

#### 5. ステレオカメラを用いた人体の3次元リアルタイム追跡

複数のステレオカメラ(PointGrey Bumblebee)から獲得した人体の距離データ点を空間を離散化したボクセル空間で統合した後、提案したFLSMを適用して人体のリアルタイム追跡実験を行った。使用した画像のサイズは320x240pixel, また、計算機はPentium 2,2.8GHzである。

実験ではまずボクセル空間において人体の内部(IN), 外部(OUT)の判定を行う。各ステレオカメラに対してボクセル空間を1つずつ設定し、また、各ボクセルはIN,OUTの投票箱を持つものとし、最初全てのボクセル

は初期値INが投票されている。次に、ステレオカメラから獲得した距離データ点をボクセル空間に逆投影し、対応するボクセルAとカメラの投影中心との間に存在するボクセルに対してOUTを投票する。このような投票を全ステレオカメラの全ての画素に対して行い、全てのボクセル空間に共通してINが投票されているボクセルを人体が存在する領域とし、この領域に対して提案したFLSMを適用する。

Fig.3にステレオカメラを2台用いて人体の追跡実験を行った結果を示す。本実験でのボクセル空間(解像度: 50x50x50)は、一辺が2.2cmのボクセルで構成されており、全体の処理は15.4Hzで行われている。この実験より、リアルタイムに人体の3次元形状の復元と追跡が可能であることが確認された。

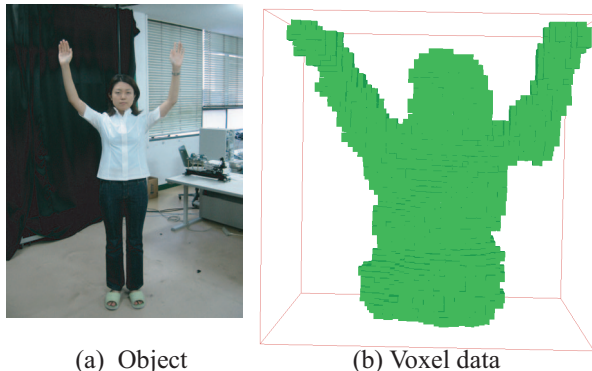


Fig.3 3D reconstruction of human body

#### 6. まとめ

Level Set Methodの高速化手法としてFast Level Set Methodを提案した。その応用例として、ビデオ画像上の移動物体の実時間追跡、およびステレオカメラを用いた人体の3次元実時間追跡を行うシステムを開発した。参考文献

- 1) M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos: Snakes, Active contour models, Int. J. Computer Vision, Vol.1, No.4, pp.321-331, 1988
- 2) D. Terzopoulos, A. Witkin and M. Kass: Constraints on deformable models: Recovering 3D shape and nonrigid motion, Artif. Intell., vol.36, pp.91-123, 1988
- 3) S. Osher and J. A. Sethian: Fronts propagating with curvature dependent speed: Algorithm based on Hamilton-Jacobi formation, J. Computational Physics, Vol.79, pp.12-49, 1988
- 4) N. Paragios and R. Deriche: Geodesic active contours and level sets for detection and tracking moving objects, IEEE Trans. on PAMI, Vol.22, pp.266-280, 2000
- 5) S. Yui, K. Hara, H. Zha and T. Hasegawa: A fast narrow band method and its application in topology-adaptive 3-D modeling, Proc. ICPR02, vol. , pp.122-125, Aug, 2002
- 6) 倉爪亮, 由井俊太郎, 辻徳生, 岩下友美, 原健二, 長谷川勉: Fast Level Set Methodの提案とビデオ画像の移動体のリアルタイム追跡, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.8, pp.2244-2254, 2003

本研究の一部は総務省戦略的情報通信研究開発推進制度の支援を受けた。