

Selective Fast Narrow Band 法の提案とカメラ画像上の移動物体実時間追跡

The Selective Fast Narrow Band Method and Realtime Tracking of Moving Objects in Video Images

○ 辻 徳生 (九州大) 由井 俊太郎 (九州大) 倉爪 亮 (九州大) 長谷川 勉 (九州大)

Tokuo TSUJI[†] Kyushu University, Hakozaki 6-10-1, Fukuoka

Shuntaro YUI[†] Ryo KURAZUME[†] Tsutomu HASEGAWA[†]

The level set method has attracted much attention as a topology-free active contour model. Though this method has been used in various applications, such as motion tracking and 3D geometrical modeling, the calculation cost is very expensive. In this paper, we propose an efficient calculation algorithm for the level set method named Selective Fast Narrow Band Method. The effectiveness of our algorithm is shown by experiments of realtime tracking of moving objects in video images.

Key Words: Level Set Method, Realtime Tracking, Active Contour Model

1 はじめに

Level Set Method(LS)¹⁾の高速化手法として Selective Fast Narrow Band Method(SFNB)を提案する。LSは、位相変化が可能な動的輪郭追跡手法として、移動体追跡²⁾や3次元幾何モデリング³⁾などの分野で用いられている。しかし、その実現には多くの計算量が必要であり、計算の高速化が大きな課題である。この問題に対し、我々はこれまでにLSの高速化手法としてFast Narrow Band Method(FNB)³⁾を提案した。本論文ではFNBをさらに高速化する手法として、SFNBを提案する。

また提案するSFNBの応用例として、カメラ画像から実時間で移動物体の輪郭追跡を行うシステムを開発した。LSを用いた移動物体の追跡は、移動物体の重なりや分離に容易に対応できること、ノイズに対し頑強であることなどの利点を有する²⁾。本論文では、SFNBを用いることで実時間での移動物体の追跡を実現し、その結果を示す。

2 Level Set Method

2次元xy平面上でのLSを用いた境界追跡手法について説明する。まず、平面状の各点(x,y)において、時刻tでの補助関数 $\Psi(x,y,t)$ を導入する。境界 $C(x,y,t)$ は、 $\Psi(x,y,t) = 0$ を満たす(x,y)で表す。

LSでは境界 $C(x,y,t)$ を直接的に移動させる代わりに、 Ψ を更新し、 $\Psi = 0$ として境界を求めることで、位相の変化に対応した境界の追跡を行う。

LSを計算機で実現する際には、 x,y,t を離散化し、次の差分方程式を用いて Ψ を更新する。

$$\Psi_{ij}^{n+1} = \Psi_{ij}^n - F_{ij} |\nabla \Psi_{ij}^n| \Delta t \quad (1)$$

ここで、(i,j)はxy平面上のグリッド座標であり、 Δt はタイムステップ幅である。 $\Psi_{ij}^n = 0$ を満たすグリッド点を境界点と呼ぶ。 F_{ij} は成長速度と呼ばれ、境界上で先に計算され、境界点以外の(i,j)での成長速度は、最も近い境界点の成長速度を用いる。

初期境界 $C(x,y,0)$ が与えられたときに、 Ψ の初期値は、次式によって設定される。

$$\Psi_{ij}^0 = \pm d \quad (2)$$

dは、(i,j)から初期境界までの最短距離である。境界の外側にあるときは、プラスの符号を選び、境界の内側にあるときは、マイナスの符号を選ぶ。 Ψ を差分方程式に従

い更新していくと、積分誤差が蓄積されていくため、一定回数ごとの更新時に式(2)にしたがい、 Ψ を再計算する。これを再初期化処理という。

上述したように、成長速度場の構築と曲面の再初期化を行う際には、各グリッド上で最も近い境界上の点を求める必要がある。従来のLSでは、この最近傍探索の処理に膨大な計算量がかかっていた。そこで、次節以降でその高速化処理について述べる。

3 Fast Narrow Band Method

境界領域の追跡では、空間全体で補助関数を更新する必要はなく、境界に近い領域(Narrow Band)だけ取り扱えばよい。FNBは、Narrow Band内の最近傍探索処理を単純な数値の上書き処理に置き換えることで、高速化する手法である。ここでは、成長速度場の構築を例に説明する。

まず、Fig.1(a)に示すような参照マップをあらかじめ作成する。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、 $r = 0 \sim \delta(\delta + 1)$ 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。ここで、 $\delta(>0)$ はNarrow Bandのバンド幅である。Fig.1(a)は、バンド幅 $\delta = 3$ における参照マップを示す。

次に、作成した参照マップを用いて成長速度場を構築する(Fig.2)。境界点を原点として、rが最大であるリスト R_r に属するグリッドを選択し、境界点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(a)。この処理をすべての境界点に対して行う。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。異なる値がすでに登録されていた場合は、新たな値を上書きする(b)。これにより全ての処理が終了した時には、各グリッドには最も近い境界点における成長速度の値が登録されている(c)。

4 Selective Fast Narrow Band Method

前節のFNBは書き込み領域を限定することでさらに効率化できる。例えば、ある境界点 C_1 の左側に境界点 C_2 が隣接している場合、 C_1 の左側の領域には、 C_2 よりも C_1 に近い点は存在しない。同様に C_2 の右側の領域には、 C_2 よりも C_1 に近い点は存在しない。このように、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、書き込み領域を限定することができる。

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。例えば、左側に隣接するグリッドが境界点であれば、A,B,Hを書き込まない領域とする。
2. 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。例えば、左上に隣接するグリッドが境界点であれば、Bは書き込まない領域とする。
3. (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。

例えば、Fig.2の成長速度 F_1 を持つ境界点では、左右両側に他の境界点が存在するため、参照マップのC,G領域のみ書き込むことになる。このように、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。

本手法は、極めて単純な上書き処理により実行されるため、システム LSI などの専用ハードウェアによる高速化も容易である。

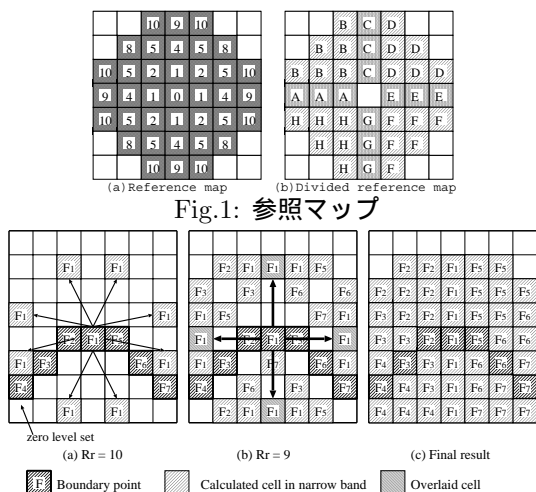


Fig.2: 成長速度場の構築過程

5 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SFNB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 IV、2GHzである。

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。

また、成長速度 $F(\kappa)$ は

$$F(\kappa) = k_I(a - b\kappa) \quad (3)$$

で与えた。ただし k_I は輝度勾配に関する項、 κ は補助関数の曲率、 $a, b (\geq 0)$ は定数である。輝度勾配項 k_I は、以

下の式により濃淡画像 $I(x, y)$ と背景差分画像 $D(x, y) = I(x, y) - I_{org}(x, y)$ の両方から決定した。

$$k_I = \frac{1}{1 - \min(|\nabla I(x, y)|, |\nabla D(x, y)|)} \quad (4)$$

これにより、補助関数は輝度勾配が小さいと速度が大きくなり、境界はその外側方向へ移動する。一方、輝度勾配が十分に大きい場所では速度が0に近くなり、境界はその場所で停止する。また曲率 κ の項は、境界が滑らかになるように働く。

FNBとSFNBの計算時間の比較を表1に示す。SFNBを用いることで、速度の書き込み回数が大幅に減少していることが分かる。

表1: FNBとSFNBの計算時間の比較

	δ	処理全体 (sec.)	速度場の構築 (sec.)	速度の書き込み回数
FNB	5	0.0083	0.0017	57348
	10	0.0209	0.0036	229392
SFNB	5	0.0080	0.0012	14254
	10	0.0181	0.0019	35357

Fig.3に追跡開始から時間ごとの処理結果を示す。成長速度の最大値は1ピクセル、Narrow Bandの幅は5ピクセルとした。処理は約125Hzで実行されている。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。

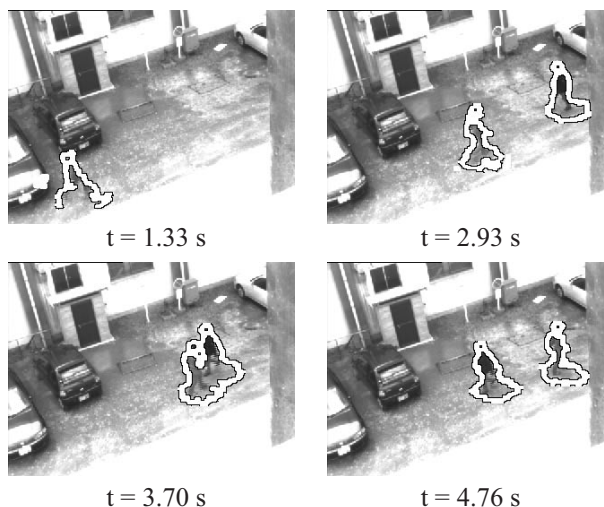


Fig.3: 複数物体のリアルタイム追跡

6 むすび

Level Set Methodの高速化手法としてをSelective Fast Narrow Band Methodを提案した。その応用例として、カメラ画像から実時間で移動物体の輪郭の追跡を行うシステムを開発した。

- 1) J. Sethian: Level Set Methods, 1st ed. New York, Cambridge University Press, 1996
- 2) N. Paragios and R. Deriche: Geodesic Active Contours and level sets for detection and tracking of moving objects, IEEE Trans. on PAMI, Vol.22, pp.266-280, 2000.
- 3) 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.IV, pp.122-125, Aug, 2002