

Level Set Method を用いた 3 次元物体形状の生成と追跡

3-D shape modeling and tracking using the Level Set Method

○ 岩下 友美 (九州大) 由井 俊太郎 (九州大) 倉爪 亮 (九州大) 長谷川 勉 (九州大)

Yumi IWASHITA †Kyushu University, 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, Japan

Shuntaro YUI† Ryo KURAZUME† and Tsutomu HASEGAWA†

In this paper, we propose a new 3-D shape modeling and tracking method of moving objects based on the level set method (LSM). The LSM is a numerical calculation technique that realizes a topology free shape modeling. The proposed method utilizes and expands the Fast Narrow Band method (FNB), which is a fast implementation technique of the level set method, so that it can handle moving objects. Developed algorithm enables the modeling and tracking of 3-D moving objects twice as fast as a conventional algorithm due to the use of multi-thread programming technique.

Key Words: Range image, level set method, 3D shape reconstruction, tracking

1 はじめに

実物体形状の時間的変化をリアルタイムで取得・追跡できれば、VRやヒューマンマシンインタフェース、医療分野など幅広い分野での利用が期待できる。これまでに、レーザーレンジファインダやMRIから得られる距離画像を用いた物体形状の獲得手法として、Deformable Surfaceを用いたモデリングが提案されている。これは、まず測定された全ての距離画像データを囲むように単一の閉曲面を設定し、その曲面形状をデータ形状近傍まで収縮させることで物体の表面モデルを獲得する手法である。この曲面形状進化を実現する数値計算法の一つとして、Level Set Method(LSM)が提案されている¹⁾。LSMは曲面形状進化の過程で分裂や統合といった曲面の位相変化が可能な優れた手法であるが、一方で計算量が膨大になるとい問題が指摘されている。この問題に対して、我々はこれまでにLSMの高速化手法としてFast Narrow Band Method(FNB)を提案し²⁾、これにより物体形状を高速に獲得できることを示した。

そこで本報告では、FNBを用いたモデリング手法を拡張し、移動変形する物体形状の生成・追跡を行う手法を提案する。

2 曲面形状進化法

本章ではLSMとFNBを用いた曲面形状進化法の概要を示す。

2.1 Level Set Method

LSMは、曲面を一つ次元の高い補助関数 ψ のゼロ等高面とみなし、補助関数に関する偏微分方程式(PDE)を数値的に解いて補助関数を更新し、そのゼロ等高面である曲面の形状進化を実現する手法である。具体的には、補助関数を曲面までの距離関数と定義し、以下に示すPDEを離散化した差分方程式に従って補助関数 ψ を更新し、曲面形状進化を実現する。

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

ここで F は成長速度と呼ばれ、曲面上の点 (i,j,k) が単位時間あたりに外向き法線方向に移動する量を示す。この成長速度は、例えば物体モデルを生成する場合には、曲面が物体境界に到達しているかどうかや、曲面の曲率といった曲面自身の状態を用いて決定される。

LSMは曲面形状進化の過程で、位相の変化が可能であるという利点がある。しかし一方で、曲面形状進化を安定に実現するには、成長速度や補助関数 ψ を設定する際、曲面近傍にあるグリッドにおいて最近傍曲面を探索しなければならないため、計算量が膨大になるとい問題がある。

2.2 Fast Narrow Band Method

この問題に対し、我々はLSMの高速化手法として、Fast Narrow Band Method(FNB)²⁾を提案した。FNBでは、距離情報を格納した距離マップを用いることで探索が必要な範囲を限定する。そのため、高速な探索処理が可能となり、全体の計算量を大幅に削減できる。

FNBを用いて物体モデルを生成するには、まず曲面形状進化をデータ点近傍で停止するために、データ点近傍領域に停止領域(Fig.1)を生成する。次に初期曲面を全データ点を囲むように設定し、FNBを用いて停止領域に到達するまで曲面を進化させ、物体モデルを生成する。

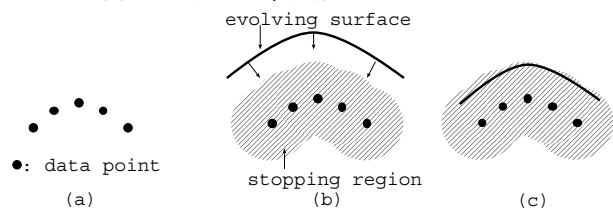


Fig.1: 停止領域の生成

3 物体形状の概形の生成・追跡

本章では、FNBを用いて移動変形する物体の形状を生成・追跡する手法について述べる。時間とともに移動するデータ点を用いて物体モデルを生成・追跡するために、前章で示した停止領域の概念を拡張し、曲面の膨張と収縮を同時に扱えるように変更する。具体的には、まず、データ点近傍領域に曲面を膨張させるため膨張領域を生成し、その領域の外側に停止領域を生成する(Fig.3(a))。次に、初期データ点に対してFNBを用いて物体モデルを生成し(Fig.3(b))、次時刻のデータ点を用いて次の手順を繰り返すことにより物体モデルを追跡する。

1. データ点の移動に伴い(Fig.3(c))、膨張領域・停止領域を再定義する(Fig.3(d))。

2. 曲面が膨張領域内に存在する場合、曲面を膨張させる。曲面が停止領域・膨張領域のどちらにも存在しない場合、曲面を収縮させる (Fig.3(e))。また、曲面が停止領域内に存在する場合、曲面を停止させる (Fig.3(f))。

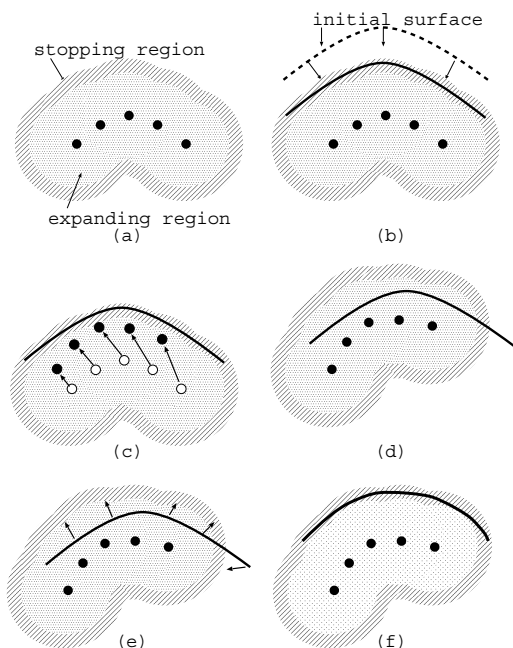


Fig.2: 停止領域と膨張領域の生成

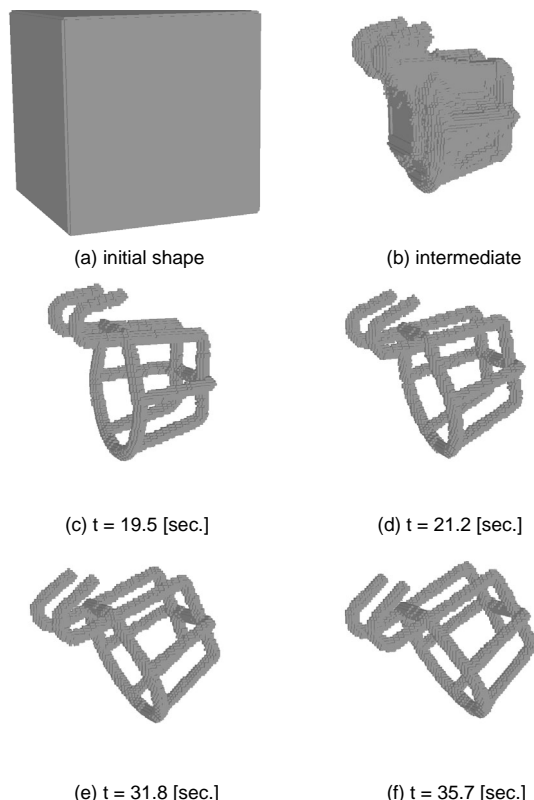


Fig.4: 実験結果

4 実験

本手法の有効性を確認するために、Fig.3 に示す細い針金で作られたバスケットの距離画像データをレンジファインダを用いて取得し、得られたデータ点を並進・回転させて、物体モデルを生成・追跡する実験を行った。なお、実験にはデュアル CPU Pentium 2.0GHz を使い、マルチスレッドを利用してプロセスを並列化した。また、全データ点数は 5530 点である。各座標軸方向の格子点の数を $n = 128$ とし、回転移動させたデータ点を提案手法を用いて追跡した過程を Fig.4(a)-(f) に示す。Fig.4(f) は Fig.4(c) を $30[\text{degree}]$ 回転させた結果で、移動する物体の形状を生成し追跡できていることがわかる。

表 1 と表 2 に全てのデータ点を並進移動、回転移動させ、物体モデルを獲得するまでの計算時間を示す。ここで上段の移動量は、並進移動の場合は移動したピクセル数を示し、回転移動の場合は角度 [degree] を示す。この結果から、移動量が大きくなるのに伴い、追跡に必要な計算時間も大きくなる事がわかる。

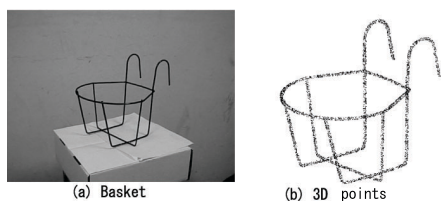


Fig.3: バスケットのモデリング

表 1: 計算時間：並進移動

移動量	1.0	2.0	3.0	4.0
計算時間 [sec.]	0.85	1.11	1.32	1.73

表 2: 計算時間：回転移動

移動量 [degree]	1.0	2.0	3.0	4.0
計算時間 [sec.]	0.85	0.98	1.21	1.37

5 まとめ

これまでに提案した FNB を用いた高速な物体モデルの獲得手法に対し、従来の停止領域の概念を拡張し、膨張領域と停止領域を用いることで、移動変形する物体のデータ点から 3次元形状を生成・追跡する手法を提案した。今後は、PC クラスタを用い、リアルタイムで距離画像データを取得するシステムを構築することを目指す。

参考文献

- 1) R. Malladi, J.A. Sethian, and B.C. Verumi, "Shape Modeling with Front Propagation: A Level Set Approach", IEEE Trans. PAMI, Vol.17, No.2, pp.158-175, (1995)
- 2) 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