

三次元動的輪郭法による複数レンジデータからの 屋外環境の三次元ポリゴンモデル化

◎北市 泰寛

佐藤 智和

横矢 直和

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

{yasuhi-k,tomoka-s,yokoya}@is.naist.jp

1. はじめに

本稿では、屋外環境において複数地点で計測された位置合わせ済みのレンジデータに対して、三次元動的輪郭法を適用し、環境の三次元ポリゴンモデルを得る新たな手法を提案する。レンジデータを対象とする三次元動的輪郭法を用いた従来研究[1][2]では、一つの初期ポリゴンを対象物内部または外部に設定し、エネルギー最小化によりポリゴンを膨張、収縮させることで形状を推定する。しかし、屋外環境を対象とする場合には、対象物が大規模となり、複数のオクルージョンが発生するため、一つの初期ポリゴンでは効率よく最適解を得ることができない。本研究では、複数レンジデータの計測地点からそれぞれ初期輪郭を発生させ、三次元輪郭モデルの膨張と統合を行うことで、効率よく屋外環境をポリゴン化する。

2. 三次元動的輪郭法によるモデル化

提案手法では、初期輪郭モデルを個々のレンジデータ計測地点に発生させ、三次元動的輪郭法により輪郭モデルを膨張させることで屋外環境のポリゴンモデルを得る。以下では、三次元動的輪郭法で用いるエネルギー関数の定義とエネルギー最小化によるモデルの更新について述べる。

2.1 エネルギー関数の定義

本研究では、個々の輪郭モデルが持つエネルギー E として、以下の式で定義されるレンジデータに対するポテンシャルエネルギー E_p と輪郭の滑らかさを表すエネルギー E_s の重み付き和を用いる。

$$E = w_0 \times E_p + w_1 \times E_s \quad (1)$$

w_0 , w_1 はそれぞれ、ポテンシャルエネルギー、滑らかさのエネルギーに対する重み係数である。本手法では、エネルギー E をそれぞれの輪郭モデルに対して独立に最小化することで最終的な形状モデルを推定する。以下では、 E_p , E_s について詳述する。

ポテンシャルエネルギー E_p は、輪郭と点群の距離によるエネルギーを表しており、輪郭をレンジデータに引き寄せ膨張させる力を発生させる。ここでは E_p を、輪郭を構成するポリゴン頂点 i の三次元位置 $\mathbf{X}_i$ と、 $\mathbf{X}_i$ に対応するレンジデータの三次元位置 $\mathbf{P}_i$ の距離の総和として、以下の式で定義する。

$$E_p = \sum |\mathbf{P}_i - \mathbf{X}_i| \quad (2)$$

なお、 $\mathbf{X}_i$ に対応するレンジデータ $\mathbf{P}_i$ は、頂点 i の三次元位置 $\mathbf{X}_i$ を視点、その法線を光軸とする一定画角内のレンジデータの中で、最も距離に近いものとする。画角内にレンジデータが存在しない場合には、その頂点はモデルに必要な点とみなせるため、その頂点を含むポリゴンはモデル表面から削除する。

輪郭の滑らかさを表すエネルギー E_s は、ポリゴンの頂点 i と、その n 個の接点 $S_i = \{1, \dots, j, \dots, k, \dots, n\}$ から成る n 角形の重心との距離を用いて、以下の式で定義する[1]。

$$E_s = \sum_i \frac{\left| \mathbf{X}_i - \frac{1}{n} \sum_{j \in S_i} \mathbf{X}_j \right|}{\max_{j, k \in S_i} |\mathbf{X}_j - \mathbf{X}_k|} \quad (3)$$

ここで、分母はポリゴンの頂点 i の接点 S_i における2点間の距離の最大値であり、これによりメッシュサイズによるスケールの変化を正規化する。

2.2 エネルギー最小化による三次元モデルの生成

本研究における三次元モデルの作成手順を以下に示す。

- (1) ポリゴンによる初期輪郭モデルの設定：レンジデータの計測地点に、内部にどの計測データも含まない、また他の初期モデルと重ならない正二十面体を設定する。
- (2) エネルギー最小化による輪郭モデルの更新：2.1節で定義した初期輪郭モデルを、エネルギー最小化により更新する。ここでは、頂点ごとにエネルギーの最急降下ベクトル $(-\partial E / \partial x_i, -\partial E / \partial y_i, -\partial E / \partial z_i)$ を求め、そのベクトルに沿って点を移動させることでポリゴンを更新する。
- (3) ポリゴンメッシュの最適化：輪郭を形成するメッシュの大きさ、形状が最適になるよう、自動的に三角形の分裂、削除を行う[1]。
- (4) 複数輪郭モデルの結合：異なる測定地点から膨張させた異なるモデルの頂点間の距離が閾値以下になった場合には結合処理を行い、一つの輪郭モデルとする。

上記の(2)から(4)の処理をエネルギーが収束するまで繰り返すことで、最終的なポリゴンモデルを得る。

3. 予備実験

屋外環境の建築物を想定した点群データに対して異なる3地点から初期輪郭モデルを発生させ、三次元動的輪郭法によりポリゴンモデルを推定した。本実験では、2.1節で述べたエネルギー関数の重み係数を、 $w_0 = 1.0$, $w_1 = 1.0$ とした。図1に実験に用いた点群データと初期輪郭モデルを、図2にモデルの推定結果を示す。本実験では、測定地点に発生させた輪郭モデルが自動的に膨張、結合し、点群に沿ったポリゴンモデルが生成された。今後は、屋外環境を実測したレンジデータや、動画像からの三次元復元によって得られる三次元点群に対して本手法を適用し、さらにテクスチャマッピングを行うことで、広域な実環境の三次元モデルを自動生成する手法を開発する。

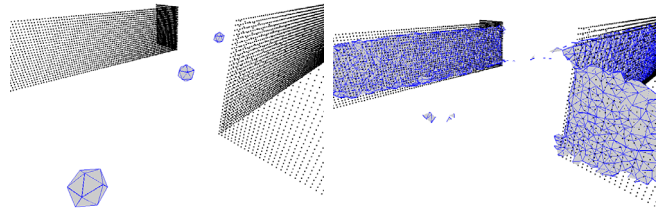


図1：初期輪郭モデル

図2：モデルの推定結果

参考文献

- [1] Ye Duan, Hong Qin: "A Novel Modeling Algorithm for Shape Recovery of Unknown Topology", In Proc. ICCV 2001, vol.1, pp.402-409, 2001
- [2] Greg Slabaugh, Gozde Unal: "Active Polyhedron: Surface Evolution Theory Applied to Deformable Meshes", In Proc. CVPR 2005, vol.2, pp.84-91, 2005