344 隣接パッチ間の G^1 連続な接続についてOn the Connection of Neighboring Patches with G^1 Continuity

○ 篠田 淳一 (Interlocus)

安達 幸弘 (東工大)

尾坪 秀俊 (東工大)

正 萩原 一郎 (東工大)

Junichi SHINODA, Interlocus Inc., 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

Yukihiro ADACHI, Tokyo Institute of Technology

Hidetoshi OTSUBO, Tokyo Institute of Technology

Ichiro HAGIWARA, Tokyo Institute of Technology

Reverse engineering is a process to convert real objects into digital data and has received a lot of attention recently. In reverse engineering, reconstructed models are represented by four-sided patches. Problem arises when an originally smooth part is expressed as an edge at the boundary between adjacent patches. This paper presents a method of modifying B-Spline/NURBS surfaces to meet G^1 continuity. The proposed method uses knot insertion to make breakpoints and enables calculation of the appropriate control points at those breakpoints. By using this method repeatedly, it is possible to join a boundary between adjacent patches with G^1 continuity.

Key Words: B-spline, G^1 continuity, NURBS, patch, knot

1. 緒 論

近年, 既存の物体の形状をデジタルデータに変換する技術であるリバースエンジニアリングが注目を集めている。リバースエンジニアリングでは, 三次元測定器で得た点群データから, ノイズ除去・特徴線抽出・表面生成等の過程を経て, 四辺形曲面(パッチ)の集合としてモデルが再構成される。しかし, これらの作業を計算機で自動化するのは大変困難であり, しばしば本来滑らかな部分がエッジとして表現されてしまうことがある。これは解析やモデリングに応用する際に問題となるため, 再構成のやり直しや人の手による修正が必要となる。そこで本研究では, エッジとして再構成されたパッチ間境界を G^1 連続に修正する手法を提案する。

2. 提案するアルゴリズム

本研究では, パッチの表現方法として一般的なB-Spline, NURBSを対象としている。図1に本手法の概念図を示す。右側のパッチをパッチ1, 左側のパッチをパッチ2とする。ここで右肩の添え字はパッチの番号を表し, 例えば P^1 はパッチ1の制御点を表す。また $S_v(u, v)$ は $S(u, v)$ の v 方向一次導関数を表す。パッチ1とパッチ2が G^1 連続で接続されているとは, 境界においてパッチ1の接線ベクトルとパッチ2の接線ベクトルが同一直線上にあることをいう。

Fig. 1 Outline of the proposed algorithm

本手法ではまず, オスロアルゴリズム^①を用いて各パッチに回数だけノット挿入を行い, 境界上に共通の制御点=ブレイクポイントを作る^②。図中の $P_{i,0}^1$,

P_{i,n_2}^2 がそれにあたる。これはパッチを分割したことに等しい。つぎにブレイクポイントにおける接線ベクトル(v 方向一次導関数)を計算し, 生成した各ブレイクポイントにおいて接線ベクトルが同一直線上になるように制御点 $P_{i,1}^1$ を移動する。B-Spline 曲面の端点

における接線ベクトルは、次の式で表されることが知られている⁹。

$$S_v(0,0) = \frac{l-1}{y_l}(P_{0,1} - P_{0,0}). \quad (1)$$

ここで l は位数、 y_l は l 番目のノットである。これを用いて $P_{i,1}^1$ の移動量 d を次式で決定する。

$$d = \frac{S_v^2(u,1)(P_{0,1} - P_{0,0})}{\|S_v^2(u,1)\|^2} S_v^2(u,1) - (P_{0,1} - P_{0,0}) \quad (2)$$

この作業を繰り返し行い、ブレークポイント間の角度差を小さくしていくことで、曲面全体を G^1 連続な接続にする。

ただし、 $P_{i,1}$ を移動しただけでは分割線に皺が寄った形状になってしまう。そこで図1の破線で示すラインの制御点全てに修正を施すことで、分割されたパッチ同士の連続性も考慮した修正を可能にする。

3. G^1 連続なパッチの接合

3.1 評価法 本手法は曲面の形状に関係なく、制御点の並び方と初期角度差に影響を受ける。図2に示す二種類のモデルについて、初期角度差を変化させて評価を行った。角度トレランス(有効精度)は 0.1° とする。つまり、境界線上の接線ベクトル間角度差が全域にわたり 0.1° 以下になったとき、二枚のパッチが G^1 連続に修正されたと判定する。

3.2 評価 評価に用いた二種類のモデルの結果を比較すると、制御点が均等に並んでいる方がバランスの良い修正ができたが、その差は極めて小さく分割数の増加に伴いほぼ同じ結果を得た。従って、制御点の並び方が本手法に及ぼす影響はごくわずかであるといえる。図3にモデル1で様々な初期角度差に対して本手法を適用して得られた結果の一部を示す。同図上に示すようなパッチの両端と中心部で修正方向が異なる場合のみ、分割なしの段階で角度差の増大が見られたが、二分割以上では角度差は漸減した。その他の場合では同図下のように良好な修正結果を得ることができた。本手法の有効範囲を検討した結果、どのような角度差のパッチでも 2° 程度の誤差であれば八分割で G^1 連続に修正できることがわかった。

4. まとめと今後の課題

本研究では、本来滑らかな部分がエッジとして再構成されたパッチ間境界を、 G^1 連続に修正する手法を提案した。本手法は制御点の並び方や初期角度差によらず、パッチの分割数を増やすことで確実に G^1 連続に近づける

ことができる。また、リバースエンジニアリングによって構造再構成されたモデルにおいて、実際に修正を施すべき箇所の初期角度差は十分に小さいと考えられるため、本手法はパッチ間の連続性を修復する手段として有効であるといえる。一方、本手法で修正されたパッチは両端において境界曲線が変形するため、さらに隣接するパッチとの間に隙間が生じてしまうという欠点がある。これを改善することを今後の課題としたい。

Fig. 2 Models for the estimate

Fig. 3 Relation of division number and angle difference

参考文献

- (1) E. Cohen et al., Discrete B-splines and subdivision techniques in computer aided geometric design and computer graphics, Computer Graphics and Image Processing, 14(2), 1980, pp. 87-111.
- (2) G. Farin, CAGD のための曲線・曲面理論共立出版, 1991.
- (3) L. Piegl, and W. Tiller, The NURBS Book 2nd Edition, Springer-Verlag, 1996.