

スウィープ手法を利用したスキニング立体の生成

7Q-2

丁 鴻田 鳥谷 浩志
(株) リコー ソフトウェア事業部

1 はじめに

3次元 CAD システムによる形状のモデリングにおいて、自由曲面を含む立体の設計は重要である。自由曲面の設計方法は種々存在する。その中のひとつに、空間上に配置された複数の異なる形状の断面を補間して、自由曲面を生成する方法がある。一般にこの方法はスキニング法と呼ばれている。例えば、飛行機の翼、プロペラ、パイプなどはそのようにして作られることが多い。従来、断面を配置し、さらに断面間を補間するための制御軌道を入力する方法がいくつか提案されている[1][2]。しかし、滑らかなスキニング立体形状を生成するための軌道の入力は困難であった。

本稿では軌道の入力をせずに、空間上に複数の断面を与えられ、それらの間を曲面で補間し、かつ各中間断面における両側の補間曲面を滑らかに接続する方法について述べ、いくつかの実行例を示す。

2 スキニングの方法

本研究では、複数の頂点を結ぶ平面曲線で囲まれたいくつかの断面を空間上に適当に配置する。ただし、本研究では、各断面における頂点の数は同じとする。それらの間を曲面で補間するときに満足させる条件として、次の二つを考える。

1. 断面間における形状の変化が滑らかである。
2. 中間断面における両側の補間曲面は G^1 連続である。

両断面間における形状の変化とは、ある断面を3次元空間における軌道に沿って徐々に移動させ、変化させることである。ここで、ある断面を軌道に沿って移動させるということを断面のスウィープと呼ぶ。

本研究では、断面のスウィープ手法を用いて、頂点の対応関係を決めるということより条件1を満足し、また、中間断面の頂点における両側の補間曲線の G^2 連続性を保つということより条件2を満足する。

本研究は i) スキニングする順に隣接する断面を接続するための頂点の組をみつけ、ii) みつけた頂点の組同士を曲線によりつなぎ、iii) 生成された曲線メッシュを Gregory パッチ で内挿することによってなされる。以下で各処理について詳しく説明する。

まず、隣接する断面における頂点の対応関係を次のステップ1-3によりみつける。ここで、隣り合う二つの断面の開始側の断面を前の断面と呼び、終了側の断面を後の断面と呼ぶ。

1. ステップ1

前の断面と後の断面の中心間に仮想的空間軌道を2次の有理Bezier曲線で生成する。この曲線の両端点の位置はそれぞれ前の断面と後の断面の中心位置であって、両端点における接ベクトルはそれぞれ前の断面と後の断面の法線ベクトルと一致し、

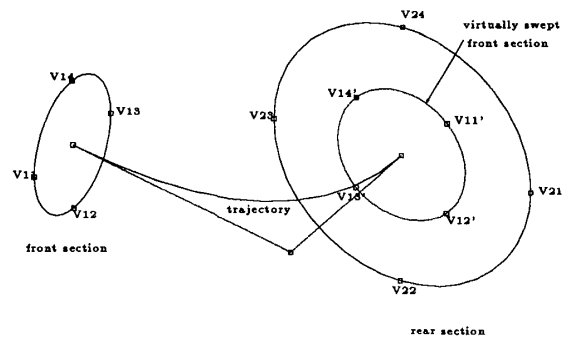


図1: 仮想的空間軌道に沿ったスウィープ

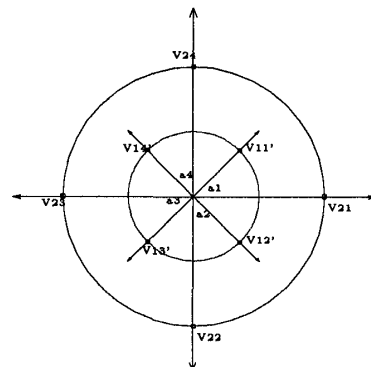


図2: ねじれ角度の計算

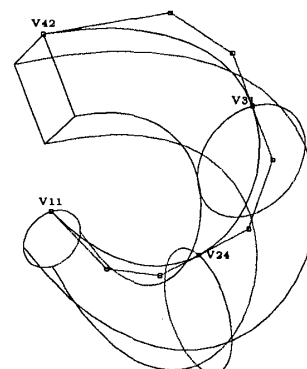


図3: 頂点間の曲線補間

真中の制御点位置は曲線の両端点における二つの接ベクトルの交点の位置である。ただし、二つの接ベクトルが、ねじれの位置にあるときは、二つの接ベクトルの互いに最も近い点の中点を交点とする。また、二つの接ベクトルが平行であるとき、生成される軌道は直線である。図1の trajectory は仮想的な空間軌道をあらわす曲線である。

2. ステップ 2

ステップ1で求めた軌道に沿って、前の断面を仮にスウィープし、後の断面と同じ平面上に持ってくる(図1を参照)。

3. ステップ 3

ステップ2で求めた仮にスウィープされた前の断面と後の断面との頂点の対応関係を定めるため、ねじれ角度を計算する。図2では仮にスウィープされた前の断面の頂点 V'_{11} と後の断面の頂点 V_{21} を組み合わせるとき、断面の中心とそれぞれの頂点で決まるベクトルの挟む角度 (a_1) をねじれ角度と呼ぶ。仮にスウィープされた前の断面のある頂点と後の断面のある頂点を組み合わせ、それ以降の頂点に対して、順番に組み合わせる際のそれぞれの挟む角度の総和を総ねじれ角度と呼ぶ。

$$\text{総ねじれ角度} = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$$

ここで、 n は各断面上の頂点の数である。仮にスウィープされた前の断面のそれぞれの頂点に対して、後の断面の頂点の中にもっとも近い頂点と組み合わせたときの総ねじれ角度を計算する。その中で、総ねじれ角度が最小であるような組み合わせ方を選ぶ(例えば、図2の V'_{11} と V_{21} , V'_{12} と V_{22} , V'_{13} と V_{23} , V'_{14} と V_{24})。この組み合わせ方により真の前の断面と後の断面との頂点对応関係を定める(図1の V_{11} と V_{21} , V_{12} と V_{22} , V_{13} と V_{23} , V_{14} と V_{24})。

上に述べた方法を全ての断面間に対して行なえば、全ての頂点の前後の対応関係が求まる。

次に、最初の断面から最後の断面までの対応する頂点列(例えば、図3の V_{11} , V_{24} , V_{31} , V_{42})に対して、頂点と頂点との間を自由曲線で接続していく。方法としては、中間の断面の各頂点の位置における両側の補間曲線は2次微分まで連続であるような条件の下で、頂点列の中の各頂点を通過点として、頂点と頂点の間に1本ずつの3次のBezier曲線を生成し、全体として滑らかな曲線列を生成する[3]。

最後に、補間曲線と断面の元の曲線により囲まれた曲線メッシュをGregoryパッチで内挿することでスキニング立体が完成する。Gregoryパッチを用いることで規則正しい曲線メッシュだけではなく不規則な曲線メッシュに対しても G^1 連続な曲面を生成できるようになった[3]。

3 例

図4(a)は6個の断面より生成されたポットの注ぎ口モデルである。(b)はそれを等高線で表示したものである。補間曲面は滑らかであることがわかる。また、図5は4個の断面より生成された翼の形状である。図6は図5の断面をそれぞれ移動したり回転したりしたあとで生成された形状である。

4 おわりに

3次元ソリッドモデラー DESIGNBASE において、スウィープ手法を利用したスキニング立体の生成方法を開発した。この方法によって、空間上にいくつかの異なる断面形状を配置するだけで、これらの断面を滑らかに補間する立体が生成できた。

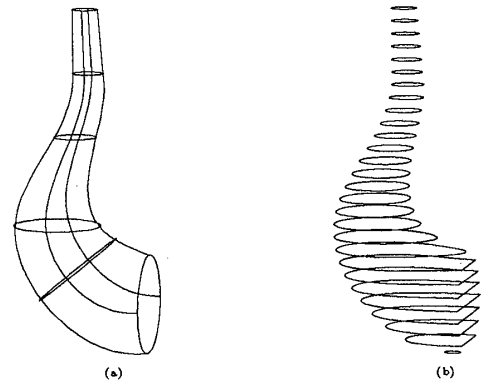


図4: 生成例1

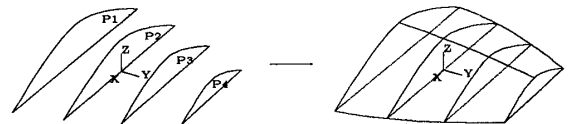


図5: 生成例2

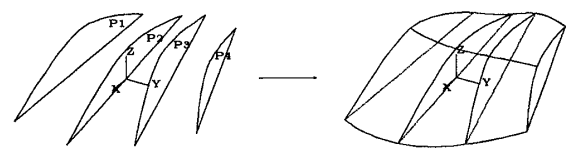


図6: 生成例3

参考文献

- [1] Wayne Tiller, "Rational B-Splines for Curve and Surface Representation", *IEEE CG&A*, vol. 3, No. 6, Sep. 1983, pp.61-69.
- [2] C. D. Woodward, "Skinning techniques for interactive B-spline surface interpolation", *CAD*, vol. 20, num. 8, Oct. 1988, pp.441-451.
- [3] Hiroaki Chiyokura, *Solid Modelling with DESIGNBASE - Theory and Implementation*, Addison-Wesley, 1988.