

# 線形リー代数による曲面に対する品質保証付きメッシュ作成技法 (II) (3次元画像処理における高品質な物体表現ならびに可視化に関する研究)

研究代表者 研究員 牧野 光則 (中央大学理工学部情報工学科)

共同研究者 研究員 趙 晋 輝 (中央大学理工学部電気電子情報通信工学科)

共同研究者 準研究員 鈴木 正樹 (中央大学大学院理工学研究科博士後期課程)

共同研究者 準研究員 玉川 宏志 (中央大学大学院理工学研究科博士前期課程)

## 1 はじめに

近年のマルチメディア技術の急速な発展は、その一方で処理すべき情報量の巨大化を招いている。このため何らかの形で情報を圧縮し、必要なときに伸長・再現する必要がある。コンピュータグラフィックス (CG) は、物体形状や位置、光源種類や位置、視点位置、視線方向などのデータから任意のサイズの画像を生成する技術であり、画像伝送における情報圧縮技法の一つとしても注目されている<sup>[1]</sup>。

高い汎用性や容易な処理を目的として、これまでにさまざまな形状モデルがコンピュータビジョン (CV) ならびに CG 分野にて提案、利用されている。この中で、物体認識を主目的にした線形リー代数<sup>[2][3]</sup>による物体表現法が提案されている<sup>[4]</sup>。この方法は、局所的な情報である接 (法) 線ベクトル場を表すパラメータから、大域的情報である物体形状を表現する。また、対象物体を観察する位置、方向に依存しない特徴量により形状が定義されており、表現能力も幅広いことから、物体認識に有用であると考えられている。

一方、CG による画像生成では、入力データをもとに効率的に情景を再現する必要がある。物体形状を CG により可視化する場合、入力データを忠実に再現する方法と三角形メッシュなどに近似する方法に大別される<sup>[5]</sup>。前者は理想的な手法であるが、実際には複雑な形状に対してレンダリングなどの処理時間が長くなる可能性がある。また、後者は計算時間を短縮できるものの、近似が不適切であれば原形と大きく異なる可能性がある。前述の線形リー代数による物体表現は、CV の立場からの研究<sup>[6][7]</sup>、すなわちレンジデータから形状を決定する手法や、表現の可能性についての研究として進められているが、CG の立場からの研究である正確かつ効率的な可視化については十分といえない。

そこで本研究では、この線形リー代数による曲面定義に対し、曲面の法線方向の変動を把握するという観点により品質を保証した、曲面上のメッシュ用点群を生成する手法を提案した<sup>[8][9]</sup>。しかしながら、提案手法では品質を保証できない場合がある。本稿では適用可能範囲を

拡大しかつ信頼性を向上するために、近傍点の情報を利用したメッシュ生成手法を示す。

## 2 線形リー代数による曲面のメッシュ化

リー群とは、要素の一つ一つが全て微分可能であるというリー代数を無限小生成作用素としてもつ、滑らかな  $C^\infty$  級の群多様体である。本稿ではリー群の多様体としての側面に注目し、無限小生成作用素で表される法 (接) 線ベクトル場をもつ多様体として物体をとらえる。

線形リー代数で定義される形状表面上の点の位置ベクトル  $p = (x, y, z)$  を用いると、法ベクトル場  $v$  は次式で与えられる：

$$v = Ap, \quad (1)$$

$A$  は線形リー代数により示される物体形状の表現行列と呼び、

$$A = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix} P_\theta Q_\phi P_\psi. \quad (2)$$

で表される。ここで、 $P_\theta$ 、 $Q_\phi$ 、 $P_\psi$  はオイラー角  $(\theta, \phi, \psi)$  による回転変換である。 $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \theta, \phi, \psi)$  は不変特徴量といい、与えられた形状固有のものである。

3次元線形リー代数を表す式 (1) は積分曲線の集合により曲面を陰的に定義している。これより、曲面上の点  $p$  の近傍の点  $p'$  は十分小さい  $\Delta t$  に対して以下で近似計算される：

$$p' = p + \Delta tw, \quad (3)$$

但し、 $w$  は  $p$  における接ベクトルである (図 1)。

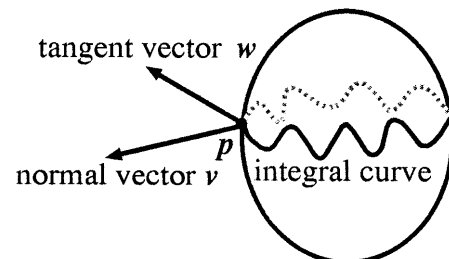


図1 曲面上の接・法ベクトル

式 (3) を繰り返し用いることにより曲面上の点群が得られるが、反復による累積誤差の影響を排除する必要がある。

### 3 品質保証付きメッシュ作成技法

本節では、複数の近傍点の情報を利用してメッシュを作成する手法を提案する。

初期データとして、不変特徴量、初期点  $p_0$ 、初期区間幅  $\Delta t$  が設定されているものとする。次に、 $p_0$  における法ベクトルならびに近傍点の情報を算出する。これらから  $\Delta t$  の正当性を評価し、必要に応じて  $\Delta t$  を縮小して点群を生成する。アルゴリズムを以下に示す：

Step1：初期設定

対象の線形リニア代数による曲面の表現行列  $A$ 、曲面上の初期点  $p_0$ 、初期区間幅  $\Delta t$  を与え、 $i=0$  とする。

Step2：法ベクトルの算出

式 (1) より、 $p_i$  における法ベクトル  $v_i$  を算出する。

Step3：近傍点の算出

$p_i$  の近傍 3 点  $p_{i,j}$  ( $j=1, 2, 3$ ) を式 (3) により算出する (図 2)。

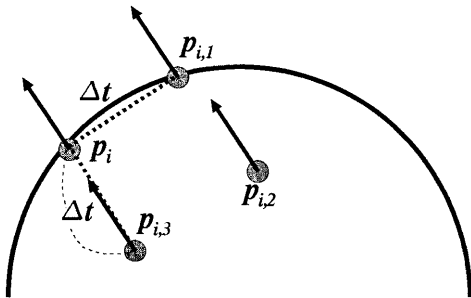


図 2  $p_i$  の近傍点の算出

Step4：近傍点における表現行列の算出

算出した近傍点における表現行列  $A_i$  を次式により計算する：

$$v_{i,j} = A_i p_{i,j}, \quad j=1, 2, 3. \quad (4)$$

但し、各点における法ベクトルを、

$$v_{i,j} = v_i, \quad j=1, 2, 3, \quad (5)$$

すなわち、 $p_i$  ならびに  $p_{i,j}$  が同一平面上にあると仮定する。

Step5： $\Delta t$  の縮小

$\|A - A_i\|$  がしきい値より大きければ、 $p_i$  ならびに  $p_{i,j}$  が同一曲面上にあるとはみなせない。この場合、 $\Delta \leftarrow \alpha \Delta t$ , ( $0 < \alpha < 1$ ) として Step 3 に戻る (図 3)。

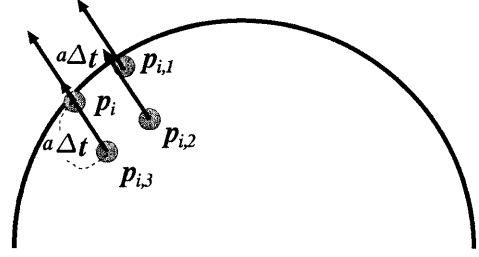


図 3  $\Delta t$  の縮小

$\|A - A_i\|$  がしきい値に等しいまたは小さい場合、 $p_{i,j}$  を曲面上の点とみなす。

Step6： $p_{i,j}$  を曲面上の点群  $p_{i+1}$  に加え、Step 2 へ。

提案アルゴリズムにより、曲面上の高品質な点群を自動的にかつ適応的に作成できる。また、本手法は以前に提案した手法<sup>[9]</sup>が適用できない図 4 のような場合にも適用できる。

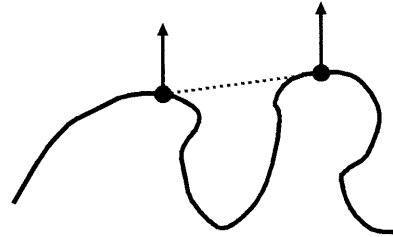


図 4 従来手法が正しく作用できない場合

### 4 生成画像例

図 5～10 に提案手法による生成画像、表 1 に各画像の生成データを示す。

図 5, 6 は非代数的形状に対するメッシュ用点群生成例である。形状変化に応じて点群の密度が異なることがわかる。図 6 の点群の最小間隔を曲面全体に適用し等密度で点群を生成した場合、 $1.8 \times 10^5$  個のメッシュを必要とするが、提案手法では  $6.0 \times 10^3$  個に抑えられており、提案手法が有効に作用していることがわかる。

図 7, 8 は球を表す同一の不変特徴量に対して異なるしきい値を設定して点群を生成した画像である。図 8 はしきい値が過大であったため、球の形状とは認識できない。

図 9, 10 は同一の不変特徴量に対して  $\Delta t$  の初期値を変化させた場合の画像である。表 1 より、図 10 は初期  $\Delta t$  が 4 倍かつ最大分割数が 2 倍であるので、形状変化が細かい領域における点群の密度 (メッシュの大きさ) が同じである。このことは、図からも観察できる。

なお、点群生成には UltraSPARC III (443MHz) 上の UNIX システムにてそれぞれ約 10 分を要した。

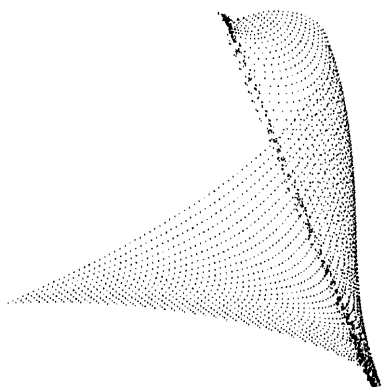


图 5 画像例 1

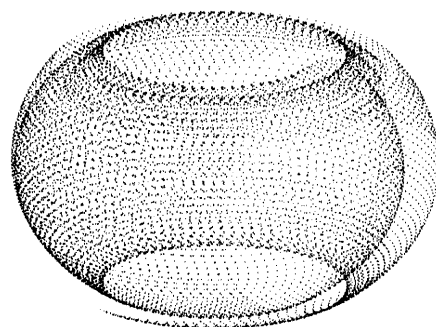


图 8 画像例 4

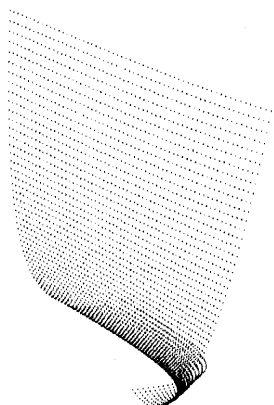


图 6 画像例 2

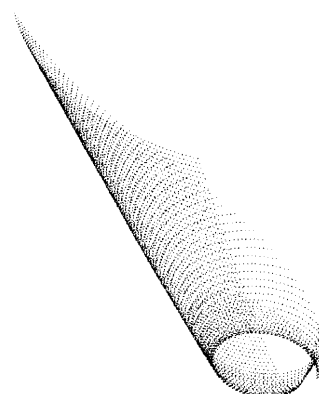


图 9 画像例 5

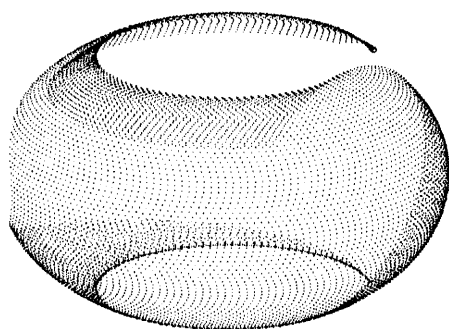


图 7 画像例 3

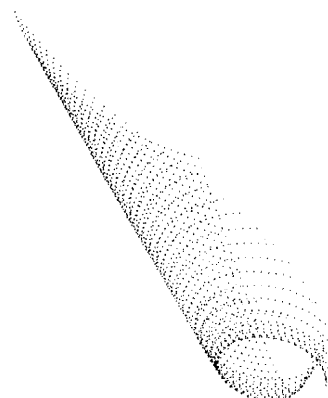


图 10 画像例 6

表 1 各画像の不変特徴量・しきい値

図	不 変 特 徴 量						しきい値	初期 $\Delta t$	最大分割数
5	-10	-10	20	-40	-100	-140	0.1	10	3
6	-2	3	-6	-30	100	75	0.1	10	3
7	1	1	1	0	0	0	0.1	10	3
8	1	1	1	0	0	0	0.8	10	2
9	5	6	-20	6	30	-30	0.1	2	2
10	5	6	-20	6	30	-30	0.1	8	4

## 5 むすび

本稿では、線形リー代数で表現される曲面形状に対して高品質なメッシュ集合を生成する手法を提案した。本手法は不変特徴量をもとに適応的かつ効率的にメッシュ集合を生成可能である。また、以前に提案した手法が適用できない場合にも対応しており、適用範囲を拡大した。

今後の検討課題として以下が挙げられる。

1. 閉曲面に対する点群生成停止基準
2. 初期  $\Delta t$  の決定方法
3. ハミルトンリー代数による曲面形状への適用

## 参 考 文 献

- [1] 今間俊博, “CG 入門セミナー,” 日経 BP 社, 1998.
- [2] 石井進也, 島田敏弘, 趙晋輝, “Hough 変換を用いた線形リー代数による 3D 物体の認識方式の実現,” 電子情報通信学会情報・システムソサイエティ大会講演論文集, D-12-56, 1997.
- [3] 島谷彰, 大野慎一, 趙晋輝, “ハミルトンベクトル場のリー代数を用いた 3 次元物体の不変な表現と認識方式,” Proceedings of MIRU96, C(1), pp.I-169-174, 1996.
- [4] 島田敏弘, 大野慎一, 島谷彰, 趙晋輝, “線形及びハミルトンベクトル場のリー代数による 3D 物体表現に関する考察,” 映像メディア処理シンポジウム (IMPS96), I-9.3, pp.107-108, 1996.

- [5] 山口富士夫, “コンピュータディスプレイによる形状処理工学 [I] [II] [III],” 日刊工業新聞社, 1982, 1982, 1988.
- [6] 趙晋輝, 島谷彰, 大野慎一, “ハミルトンベクトル場のリー代数を用いた不変な物体表現と認識方式,” 信学技報, IE95-82, pp.49-56, 1995.
- [7] 浦康一, 島田敏弘, 趙晋輝, “B-spline 補間を用いた線形及びハミルトンリー代数による 3D 物体モデルの表現能力評価,” 映像メディア処理シンポジウム (IMPS98), I-5.14, pp.105-106, 1998.
- [8] 河野真一, 牧野光則, 趙晋輝, 石井進也: “線形リー代数による曲面に対する品質保証付きメッシュ作成技法”, マルチメディアコンテンツ振興協会第 14 回 NICOGRAPH / MULTIMEDIA 論文コンテスト論文集, pp.7-16, 1998.
- [9] 河野真一, 牧野光則, 趙晋輝, 石井進也: “線形リー代数による曲面に対する品質保証付きメッシュ作成技法” 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.83-DII, No.12, 2000.

## 謝 辞

本研究は中央大学理工学研究所 1999 年度共同研究「3 次元画像処理における高品質な物体表現ならびに可視化に関する研究」の一環として行われたものである。ここに記し、謝意を表する。