

影を考慮したペンアンドインク風画像のアニメーションの作成法

芳賀俊之 西田友是
 東京大学

1 はじめに

近年、ノンフォトリアリスティックレンダリングの研究が盛んであり、ペンアンドインク風画像の生成についての研究もそのひとつである。ペンアンドインク風画像は、物体の濃淡をストローク(ペンで描かれた線)の密度で表し、表面の形状等をストロークの方向や描き方により表現するものである。そのような性質から、写真のようにリアルな画像よりも、詳細を抽象化し、形状を強調させる等の特徴も持っている。

本論文では、物体の陰影だけでなく影も考慮した画像の生成法、および、それらのアニメーションの生成法を提案する。提案法では、三次元幾何モデルを対象としており、光源としては平行光源を用いている。また、生成画像は黒色のペンで描かれたものである。

2 描画アルゴリズム

画像生成の全体の流れをまず説明し、それぞれのプロセスについては次節以降で説明をする。

- (i) 物体の位置、視線・光源方向を定め、Zバッファ法を用いて隠面消去を行い、物体の濃淡を表す濃淡画像(図1左上)、それぞれの場所でのストロークの方向を表す方向画像(同右上)、輪郭や稜線の情報を保持する輪郭画像(同左下)の3つの画像を生成する。
- (ii) 上記の3つの画像を基に、物体の濃淡や形状に従って、個々のストロークを生成する(詳細は2.3節を参照)。
- (iii) 輪郭・稜線とストロークに手描き風の揺らぎを与えつつ、画面へ描画する。

2.1 3つの画像の生成

前述の3つの画像の生成方法についての説明をする。光線の方向ベクトルと面の法線ベクトルより、ランバートの余弦則に基づいて各面の濃淡を決定し、視線ベクトルと面の法線ベクトルの外積ベクトルをスクリーンに投影したベクトルの方向より、各面上でのストロークの方向を決定する(方向画像では各画素に、方向を角度として保存)。濃淡画像にはさらに、物体が落とす影の部分の濃淡が重ねられる。影の領域の計算の詳細は2.2節にある。

視線に対して表向きの面と後ろ向きの面の間の辺を輪郭とし、また、ある辺と隣接する面の法線ベクトル同士の内積の値が閾値以下であるときに稜線として、輪郭画像を生成する。

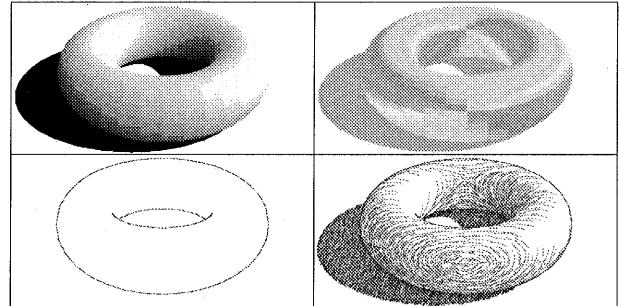


図1: 3つの画像と結果の生成画像(右下)

2.2 改良シャドウマップ法

影の領域の計算には、光源を視点とみなした場合のZバッファ法を利用した、いわゆるシャドウマップ法を改良した方法を用いている。シャドウマップ法の特徴は、計算は速いが、本来は影でない部分が影と判定されたり、影の境界のエリアシングが激しいことである。前者の欠点の主な原因は、Zバッファ法を用いて離散的に奥行き値を保持しているために、面の法線ベクトルと光源ベクトルのなす角が90度に近くなると離散化誤差が大きくなることにある。その影響が小さくなるように改良を加えた。

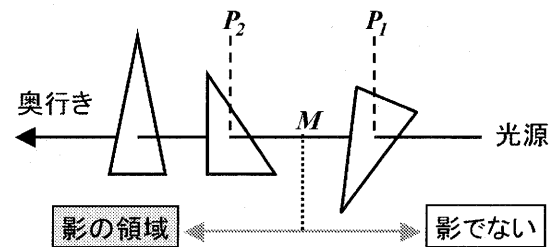


図2: 改良シャドウマップ法の説明図

改良法では、まずバッファを2枚用意し、一方は通常のシャドウマップ(各画素には光源から見て一番手前にある面の奥行き情報を保持)として、他方は、光源から二番目に手前にある面の奥行き情報を保持するバッファとする。前者を *Buffer1*、後者を *Buffer2* とすると、図2の例では、 P_1 の値は *Buffer1* に、 P_2 の値は *Buffer2* に保存される。

そして、影の領域か否かの判定の際には、判定点の光源からの奥行き値を d とした時、従来のシャドウマップ法が d と P_1 の値との比較を行うのに対して、改良法では、 d を P_1 と P_2 の中点 M の値と比較を行い、 M の値より小さければ、影の部分ではなく、 M の値より大きければ、影の領域に含まれる(図2下部)としている。これにより、本来は影でない部分が影と判定されるエラーを大幅に軽減できる。

2.3 ストロークの生成

前述の3つの画像の内の濃淡画像を目標画像とし、生成された線描画像をぼかした画像 (*Blurred_image* と呼ぶ) がそれに近づくように、以下のプロセスを繰り返し、ストロークのリストを生成する。

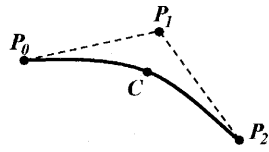


図3: ストローク

各ストロークはベジエ曲線として表現され、リストにはストロークの情報として、中心点 (C) と両端点 (P_0, P_2) の位置が保存される (図3参照)。

- (i) 目標画像と *Blurred_image* を比較し、最も描き込みの足りないと思われる画素を選び、次のストロークを描く候補点とする。
- (ii) 候補点を中心 (C) にして、方向画像の値 (角度) に応じて両側に点を移動させ、ストロークの両端点 (P_0, P_2) を計算する。
- (iii) 曲線が C を通るように P_1 の位置を計算し、 P_0, P_1, P_2 を制御点とする2次ベジエ曲線を判定のためのストロークとする。
- (iv) そのストロークをぼかした画像を生成し、それを *Blurred_image* に加えた画像を計算する。この画像と目標画像とを比較し、
 - (a) もし描き込み過ぎなら、このストロークは描画されず、破棄される。
 - (b) そうでなければ、このストロークをリストに加え、*Blurred_image* を更新する。
- (v) 目標画像と *Blurred_image* の誤差が閾値以下なら、ストロークの生成を終了する。

2.4 画面への描画

リストに含まれるストロークを画面に描画する時には3次ベジエ曲線を用いるが、その際、制御点に揺らぎを与え移動させることで、ストローク自体に手書き風の感じを与えるように描画している。輪郭や稜線についても同様にして揺らぎを与え、画面に描画する。

3 アニメーション化

アニメーションの作成で重要となるのは、各フレーム間で描画されるストロークに相関関係を持たせることである。そこで、前のフレームのストロークのリストに含まれるストロークを優先的に次のフレームに描画するようにしている。その時、物体の移動に応じてストロークの位置が移動するが、揺らぎにも相関を持たせるために、ストロークの情報としてさらに、揺らぎのための乱数のシード値も保持し、それに従って揺らぎを与えている。輪郭についても同様で、物体の各頂点にシード値が割り当てられており、それにより揺らぎが与えられる。

4 結果 および まとめ

提案法により生成された画像の例を図4、図5に示す。web上での実行を可能とするために、実装言語にはJavaを用いている。結果の描画面のサイズは640×640、描画時間の計測はPentiumIII 500MHzで行った (表1参照)。本手法では、インタラクティブに操作し各種パラメータを設定することで、ストロークの密度や揺ら

生成画像	時間 (秒)	ストローク数
2つのトーラス (図4)	16.0	1727
バニー (図5左上)	10.1	997
トリケラトプス (図5右上)	12.8	1415
モニター (図5左下)	15.7	1599
ラフなトーラス (図5右下)	15.9	1795

表1: 描画時間とストロークの本数

ぎ具合を簡単に変化させることができる。また、結果の生成画像は、影を考慮した物体の濃淡や形状をよく表現しているものと思われ、描画に要する時間もインタラクティブに操作を行うのに耐え得る範囲であった。

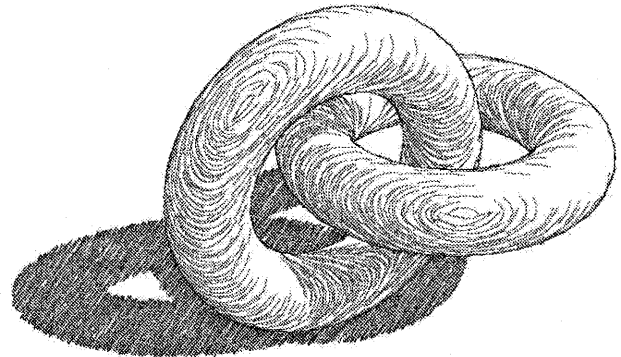


図4: 生成されたペンアンドインク風画像 (i)

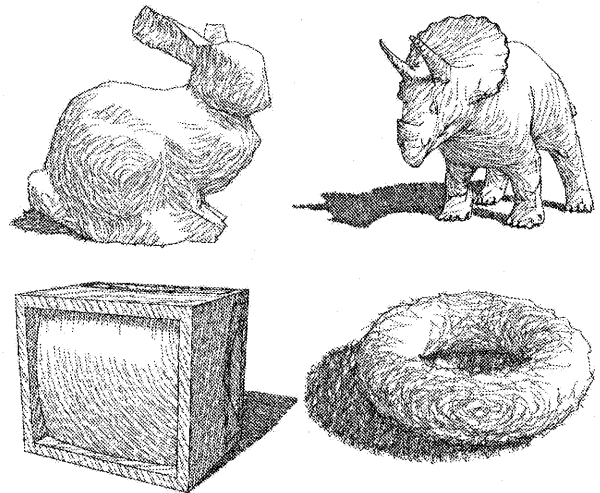


図5: 生成されたペンアンドインク風画像 (ii)

参考文献

- [1] Michael P. Salisbury, Michael T. Wong, John F. Hughes, and David H. Salesin. Orientable Textures for Image-Based Pen-and-Ink Illustration. Proc. of SIGGRAPH '97, pp.401-406, 1997.
- [2] L. Markosian, M.A. Kowalski, S.J. Trychin, L.D. Bourdev, D. Goldstein, and J.F. Hughes. Real-time nonphoto-realistic rendering. Proc. of SIGGRAPH '97, pp.415-420, 1997.
- [3] T. Saito and T. Takahashi. Comprehensible Rendering of 3-D Shapes. Proc. of SIGGRAPH '90, pp.197-206, 1990.