

ポリゴンベース幾何モデルの水墨画調レンダリング法

佐藤 陽悦 藤本 忠博 村岡 一信 千葉 則茂
岩手大学工学部

あらまし

近年，コンピュータグラフィックスにおいて写実的なレンダリングのみならず，非写実的なレンダリングの研究も盛んに行われている．筆者らはこれまで，非写実的なレンダリングの一手法として，山岳の3次元幾何モデルから水墨画調画像を生成する手法を提案しているが，表現対象は山岳地形に限られていた．この制限を取り除くため，本論文では，ポリゴンによる3次元幾何データから水墨画調画像を生成する手法を提案する．本手法ではポリゴンで定義できれば，どのような形状でも水墨画調レンダリングを行うことができる．また，皴や点と呼ばれる水墨画の筆法を表現するための拡張を行い，山水画などによく用いられているせん染描法と呼ばれる水墨画の技法が表現可能である．

Suibokuga-like rendering of 3D polygonal model.

Yoetsu Sato Tadahiro Fujimoto Kazunobu Muraoka Norishige Chiba
Department of Engineering, Iwate University

Summary

Recently, in computer graphics, not only photo-realistic-rendering but also non-photo-realistic-rendering is researched briskly. Until now, we had proposed a non-photo-realistic-rendering technique for generating a *Suibokuga-like* image of mountain scenery. The ability of this technique was restricted to representing mountain scenery. In this paper, in order to remove this restriction, we propose the technique of generating a *Suibokuga-like* image from the three dimensional polygonal data. Using this technique, we can generate a *Suibokuga-like* image of arbitrary object, we can construct the shape of the object by polygons. Moreover, we propose the method for representing the special brush drawings of *Suibokuga*, called "*Shunho*" and "*Tenho*", and creating a image by "*Sensenbyoho*", which is well used for the landscape painting.

1. はじめに

コンピュータグラフィックス(CG)においてノンフォトリリスティックレンダリングに関する研究が，近年，活発に行われている[1]．これは，写真のような画像を生成するフォトリアルなCGとは対照的に，絵画やセルアニメ，テクニカルイラストなど，人の手で描かれたような画像の生成を目的としている．このような画像生成へのアプローチとしては，(1)写真などの画像を入力として，自動的に画像生成する方法[2]-[4]，

(2)マウスやタブレットを用い，対話的に画像生成する方法[5]-[7]，

(3)三次元幾何モデルから自動的に画像生成する方法[8]-[11]

などが報告されている．

筆者らはこれまで(3)に属する手法として，樹木の骨格モデルや山岳の3次元幾何モデルから水墨画調の画像を生成する手法を提案している[9][10]．これらは，樹木の骨格モデルや山岳の幾何モデルから筆のストローク情報を得て，セルオ

オートマトンにより墨と水の移動・拡散をシミュレーションして画像生成するというものである。

本報告では、これらを拡張したポリゴンベース幾何モデルによる水墨画調レンダリング法について提案する。

2 水墨画の特徴

水墨画は、墨の濃淡であらゆる色や形を表現する絵画である。ここでは、水墨画調の画像を生成するために必要な水墨画に特徴的な運筆法や描画法について文献[12]-[15]に基づき簡単にまとめる。

2.1 墨絵の筆法

ここでは運筆と筆法について述べる。

水墨画における基本的な運筆法には直筆と側筆がある。直筆は、筆の軸が進行方向と同じ向きで、穂先が描くものの中心を通る運筆法であり(図 1(a))、側筆は、筆軸を傾けて筆の腹を使って描く運筆法である(図 1(b))。直筆は力強い線を描くことができ、力の入れ具合や筆のおろし具合により太さの変化を描き分けることができる。側筆では、線はやわらかく、墨のつけ具合による濃淡や、かすれの変化がでる運筆法である。

また、基本的な筆法には勾、点、皴などがある(図 2 参照)。

勾：水墨画で最も基本となる線描であり、主に輪郭を描く際に用いられる。

皴：筆をくねらせて描く技法で、物体の立体感、質感、凹凸を表現し、輪郭線を補うために用いられる。

点：筆の穂先を紙にぶつけるようにして描く点描であり、遠景の表現などに用いられる。

勾法は輪郭の表現として多用され、皴は風景画一般や、岩や山肌の質感、川などの流れなどを表現するときなどによく用いられている。また、点法は樹木の茂った山など遠景を描く場合などによく見られる手法である(図 3 参照)。

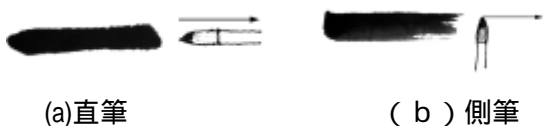


図 1 水墨画の基本運筆



図 2 水墨画の基本的な筆法

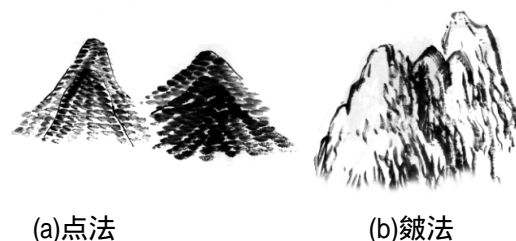


図 3 点法,皴法を用いた表現

2.2 水墨画の基本的な表現法

水墨画において良く用いられる基本的な表現技法には、没骨法、白描法、せん染法などがある。

没骨法：線描きをせずに、一筆で一気に物体の形を描く表現法。

白描法：線描のみによって主に物体の輪郭を描く表現法。

せん染法：線描によって輪郭を描きその上に皴や点、せん染(暈し)する表現法。

樹木や草本などの表現には没骨法が用いられることが多く、山水画などはせん染描法で描かれることが多い。

3 基本的な水墨画調画像生成法

本手法では、墨・水粒子の移動・拡散モデルおよび、筆と紙のモデルは既提案手法[9]と同じモデルを用いる。このモデルはシンプルな2次元セルオートマトンによって隣接セル間における墨と水の振る舞いと、筆から紙への墨の伝播、濃度平衡、

蒸発などをシミュレーションすることにより基本的な筆跡の生成を行う。手法の詳細については文献[9]を参照されたい。基本運筆の筆跡の例を図5に示す。図4(a)上が直筆、図4(b)上がストロークに濃淡の変化が現れる側筆風の表現である。また図4下のように筆速が速く、紙に対する墨の供給が間に合わない場合はかすれが表現される。



(a)直筆

(b)側筆

図4 基本運筆のシミュレーション例

4 拡張水墨画調レンダリング法

本手法ではポリゴンベースの一般的な幾何モデルによる形状データにより水墨画調のレンダリングを行えるように既提案手法を拡張し、山水画などによく用いられる、せん染描法的な表現を行える拡張を行う。せん染描法を表現するためには、物体の輪郭を描くための筆のストロークと、物体表面の質感などを点や皺で表現するための筆のストロークを生成しなければならない。ここでは、これらのストロークをポリゴンベース幾何モデルから得るための手法について説明する。

4.1 輪郭部分のストローク生成法

輪郭部分の筆のストロークの生成は、まず、ポリゴンに対してレイトレーシングを行い、輪郭線抽出に必要な情報をスクリーンの各ピクセルに保存する。次に、スクリーン全体を走査し、輪郭を構成しているピクセルすべてを登録する。そして、輪郭の細線化処理を行った後、スクリーンを左上から順に走査し、輪郭のピクセルを1つ見つけ、そこから輪郭のピクセルをトレースして筆のストロークとして登録する。トレースされていない輪郭のピクセルについて同様の処理を繰り返す、という手順によって行っている。このアルゴリズムの詳細を以下に示す。

Step1. 3次元幾何モデルに対しレイトレーシングを行い、レイトレーシングためのスクリーンの各

ピクセルに、物体までの奥行き値、物体の濃度値（表面の輝度値とする）、ポリゴンの法線を登録する。

Step2. スクリーンのピクセルに登録されたデータについて以下の Step2-1 ~ 2-2 の処理を行い、輪郭線を抽出する。

Step2-1. 各ピクセル P_{ij} の奥行き値 $Z_{i,j}$ に対し、

$Z_{i,j} - Z_{i-1,j} > D_z$ または $Z_{i,j} - Z_{i,j-1} > D_z$ ならば $P_{i,j}$ を輪郭として登録する。ここで、 D_z は輪郭を判定するための閾値である。

Step2-2. 各ピクセル P_{ij} について、 P_{ij} に物体の法線が登録されているとき、可視面の単位法線ベクトル $N_{i,j}$ と光源ベクトル L の内積 $li,j = N_{i,j} \cdot L$ に関して、

$I_{i,j} - I_{i-1,j} > D_s$ または $I_{i,j} - I_{i,j-1} > D_s$ ならば $P_{i,j}$ は輪郭であるとして登録する。ここで、 D_s は輪郭を判定するための閾値である。

Step3. Step2 で抽出した輪郭線に細線化処理を施し、以下の Step3-1 ~ 3-3 の処理により生成された点列を筆のストロークとして登録する。

Step.3-1 抽出した輪郭線に端点がある場合、そのうち左上に近いものをストロークの開始点として登録する。端点がない場合ループ中の任意の点をストロークの始点とする。

Step.3-2 始点から輪郭線をトレースする。分岐点にたどり着いた場合は現在の点の奥行き値により近いほうを選ぶ。もし奥行き値が同じ場合は、現在のトレースの方向に最も近い方向を選ぶ。

Step.3-3 以下の条件の一つを満たしたとき終点とみなし、そこまでの点列を1つのストロークとして登録する。

[条件1] 現在の点と次の点の奥行き値の差が一定値以上である場合

[条件2] トレースの方向が急激に変化した場合

[条件3] 端点にたどり着いた場合

[条件4] ループを形成した場合

4.2 陰影部分のストローク生成

輪郭を描いた後、その内側を点法や皴法で描き表面の凹凸や質感を表現する。点法は、一定の大きさの点、または大きさの異なる横点を重ねていくことで表現する(図3(a)参照)。皴法は、表面の傾斜をなぞるような方向に筆を走らせることにより表現する(図3(b)参照)。以下にこれらの手順を説明する。

4.2.1 点法のストローク生成法

点法には様々な種類のものがあるが、本手法では、最も基本的な米粒状の横点を用いるものとする。点描のストロークを生成するために図5(a)のような、点法におけるすべてのストロークの基本となる形状のストロークを用意する。基本ストロークを以下の手順に適用し、点法のストロークを生成する。

Step1 ストロークの開始点を、ディスク半径可変としたポアソン・ディスク・サンプリング法を用いて生成する。ポアソン・ディスク・サンプリング法は、サンプリング点の半径内に他のサンプリング点が入り込まないように点を発生させる方法であるが、ディスク半径はサンプリング点に登録された濃度値をもとに次式によって求める。

$$R_s = (R_{s_{\max}} - R_{s_{\min}}) \left(\tan^{-1} \left(\frac{100 \times g_{i,j}}{\bar{G}} - 10.0 \right) / p + 0.5 \right) + R_{s_{\min}}$$

ここで、 R_s はディスク半径、 $R_{s_{\max}}$ 、 $R_{s_{\min}}$ はそれぞれ、 R_s の最大値と最小値、 $g_{i,j}$ はそのサンプリング点での濃度値、 \bar{G} は濃度値の平均値である。

Step2 各開始点における点の大きさを決定する。点の大きさは、基本ストロークに、次式で示す倍率を掛けることにより求める。

$$M_r = (M_{r_{\max}} - M_{r_{\min}}) \left(\tan^{-1} \left(\frac{100 \times Z_{i,j}}{target} - 10.0 \right) / p + 0.5 \right) + M_{r_{\min}}$$

ここで、 M_r は点の倍率、 $M_{r_{\max}}$ 、 $M_{r_{\min}}$ はそれぞれ、 M_r の最大値と最小値、 $Z_{i,j}$ はそのサンプリング点での奥行き値、 $target$ はユーザが定める距

離であり、物体までの距離が $target$ と等しければ点の大きさは基本ストロークと同じであり、距離が近ければ大きく遠ければ小さくなる。

Step3 生成された点列をストロークとして登録する。

開始点生成の際に濃度値に基づいてディスク半径を制御することにより、水墨画調画像を生成した際に明るい部分は疎に、暗い部分は密に点が打たれるため、光源の情報を反映することができる。



(a)点法



(b)皴法

図5 基本ストロークの形状

4.2.2 皴法のストローク生成法

点法同様に皴法にも様々な描き方があるが、ここでは面の凹凸や質感を表現するため、傾斜をなぞるように筆を走らせるものとする。

皴法のためのストロークは、点法と同様に図5(b)のような基本ストロークを用意し、以下のアルゴリズムによって幾何モデルから抽出する。

Step1. 輪郭線検出の場合と同様にレイトレーシング法を用いて奥行き値、輝度値の情報をスクリーン上の各ピクセルに登録する。さらに、視線ベクトル E とポリゴンの法線ベクトル N の両方を含む平面と、ポリゴンとの交線を傾斜方向とみなして、そのベクトルをスクリーンへ投影し、単位ベクトル化してピクセルへ登録する。すなわち $E \times N \times N$ (\times はベクトルの外積) をスクリーンへ投影し、投影されたベクトルを単位ベクトル化する。このようにして得られたベクトルの集まりを、傾斜方向を表すベクトル場と呼ぶことにする。

Step2. 点法の Step1 と同様の方法でストローク始点の候補点を生成する。

Step3. 各始点の候補点において、その点を開始点として、傾斜方向を表すベクトル場を、以下の条件の1つを満たすまでトレースする。

[条件 1] ループを形成した

[条件 2] 現在のピクセルと次の点のピクセルに登録された奥行き値の差が一定値以上になった

[条件 3] 物体の存在領域外に出た

[条件 4] ストロークの長さが一定以上になった

Step4. 点法の Step2 と同様の方法でストロークの倍率を決定する。

Step5. 生成された点列をストロークとして登録する。

Step1 において、法線ベクトル N に Phong のスムーズシェーディングのような補間した法線を用いることにより、滑らかなストロークを生成することができる。

5. 拡張水墨画調レンダリング法の実行例

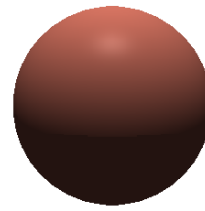
生成したストロークを筆と紙のモデルに適用することにより、水墨画調画像を生成する。なお、遠近感を表現するため、各ストロークを描画する時に筆に含ませる水と墨の量を、遠くにあるストロークほど水の量をふやし墨の量を減らし、近くにあるストロークほど水を少なく墨を多くして濃く描くようにしている。図 6 に球による水墨画調画像生成例を示す。図 6 (b) が皴法による表現、図 6 (d) に点法による画像生成例である。図 7 に灯籠の例を示す。左のレイトレーシング法による陰影画像と比較すると光源情報が保存されていることが確認できる。

図 8 は山岳と樹木の 2 種類の物体を同時に描画した例である。実際的水墨画では、全体を淡い墨で描き、その上からより濃い墨を重ねて描くことで物体や遠近を強調することがある。図 8 では、この表現のため、薄い墨によって、明暗の差を小さくして一度全体を描き、さらに、その上から濃い墨によって明暗の差を大きくして描いている。

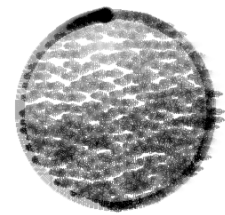
表 1 に図 6 の画像生成に要した時間を示す。なお、画像生成には SGI 社製 Origin2000 (R10000, 250MHz, 4CPU) を使用した。

表 1 画像生成時間

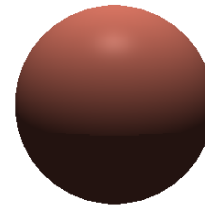
	CPU 時間(秒)	ストローク数
図 6 (b)	7300.5	387
図 6 (d)	2688.9	306



(a) 陰影画像



(b) 点法



(c) 陰影画像



(d) 皴法

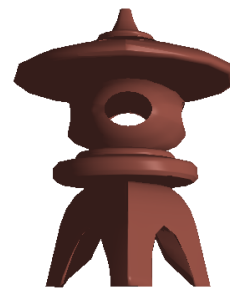
図 6 球体の表示例



(a) 陰影画像



(b) 点法

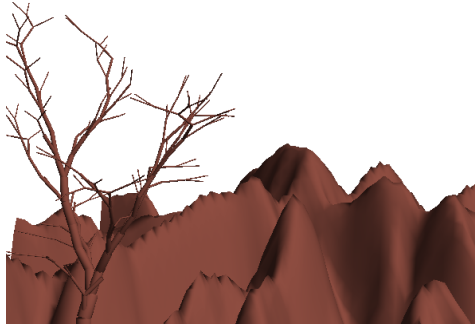


(c) 陰影画像

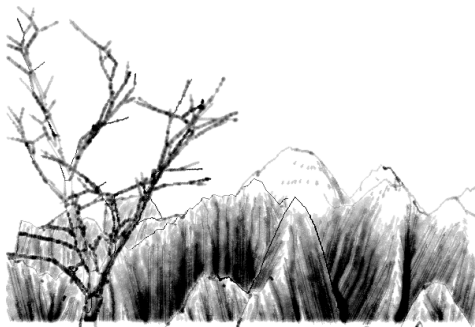


(d) 皴法

図 7 灯籠の表示例



(a)陰影画像



(b)水墨画調画像

図8 複数物体の表示例

6. まとめ

3次元幾何モデルから水墨画調の画像を生成する手法を提案した。本手法では、ポリゴンで定義された任意の物体の水墨画調画像を自動生成することができる。ポリゴンデータから筆のストロークを直接生成するため、視点や光源の情報を保存した水墨画調画像を生成することができ、山水画などによく用いられる、せん染描法風の表現が可能である。

今後の課題としては、ポリゴンサイズに依存しない皴法や点法のためのストローク生成法の開発や、複数種類の物体が混在しているシーンにおいて、個々の物体の特徴を考慮し、描画法を切り替えるレンダリング法（たとえば木は没骨法で描き、山岳や建物はせん染描法で描くなど）の開発、渴筆などの筆の表現の拡張が挙げられる。また、対象を

デフォルメーションして描く方法の開発なども興味深い。

参考文献

- [1]大野:フォトリアルでないCG画像表現の手法について, 情報処理学会研究報告, 95-CG-76, pp.1-7, 1995
- [2]Curtis.C et al, Computer Generated Watercolor, Proc.SIGGRAPH97, pp.401-406, 1997
- [3]高木, 藤代, 中嶋: 色鉛筆画周辺技法のポリウムモデリング, 情報処理学会論文誌, pp.616-624, 2000
- [4]D.Small, Simulating watercolor by modeling diffusion, pigment, and paper fibers, SPIE Conference Proceedings, 1460, 140-146, 1991
- [5]Jintae Lee, Simulating Oriental Black-Ink Painting, IEEE Computer Graphics and Applications, pp.74-81, 1999
- [6]Helena T.F.Wong et al, Virtual brush: a model-based synthesis of Chinese calligraphy, Computers & Graphics, pp.99-113, 2000
- [7]斎藤, 中嶋: インタラクティブペイントツールのための力学的三次元筆モデル, 情報処理学会論文誌, pp.608-615, 2000
- [8]高橋, 張, 村岡, 千葉, セルオートマトンによる墨の振る舞いのシミュレーションとその樹木の水墨画調レンダリングへの応用, 第12回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp.95-104, 1996
- [9]Qing Zhang et al, Simple Cellular Automaton-Based Simulation of Ink Behavior and Its Application to Suibokuga-like 3D Rendering of Trees, The Journal of Visualization and Animation, 1999
- [10]佐藤, 千葉, 村岡, 山岳の水墨画調レンダリング, 情報処理学会研究報告, 99-CG-94, pp.61-66, 1999
- [11]Oliver Deussen et al, Computer Generated Pen-and-ink illustration of trees, Proc.SIGGRAPH 2000, pp.13-18, 2000
- [12]水墨画への招待, 日本放送出版協会, 1995
- [13]水墨画テキスト, 日貿出版社, 1992
- [14]水墨画入門, 梧桐書院, 1993
- [15]墨絵, 日貿出版社, 1989