

((ファジー)+(スケルトン))
オブジェクトによる
日本画的表現

戸川 隼人
日本大学理工学部

樹木の概形をマクロにとらえ、円錐または楕円体としてモデリングし、群葉のパターンをマッピングして樹木に見せるやりかたは、以前から広く用いられているが、こうして描かれた樹木像の難点は、プラスチックの玩具か積み木のように見えてしまうことである。もっと自然な感じするには、どうしたらよいであろうか？ その解決策として、位置や形や大きさがあいまいな対象を合理的に記述する「ファジー・モデリング」、あいまい性を入れて描画する「ファジー・レンダリング」、およびそれらに関連するテクニックについて、基礎的な考察と実験を行なった。

FUZZY MODELLING AND FUZZY RENDERING
--AN OBJECT ORIENTED APPROACH
TOWARD ARTISTIC EXPRESSION

Hayato Togawa
Nihon University
1-8-14, Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101, Japan

This paper addresses the problem of how to model and render fuzzy objects for tree image generation. Four methods --- fuzzy primitives, synthetic deformation, sparse balls and symbolic representations --- are discussed.

1. 目的と方針

現在コンピュータ・グラフィックスで用いられている形状記述方法や描画方法の多くは、機械CADのように対象が幾何学的な形の組み合わせで構成され、形状、寸法、位置の確定した物を扱うには適しているが、植物のように位置や大きさや形のはっきりしないものを描くにはあまり適していない。1枚の葉だけについて見ても、形状を正確に表すのはむずかしく、ちじれていたり、汚れていたり、虫が食っていたり、その様相は複雑である。大きな木には小枝の本数だけでも万を越え、各枝にはたくさんの葉が付いている。厳密に言えば、生物には決まった位置や大きさが無い。成長し、風にそよぎ、花は散っていく。このようなものをポリゴンに分割し、座標値を列挙して扱うのは合理的でない。これをもっと自然な方式でモデリングし、描画したい、というのが本論文の目的である。

具体的にやりたいことは二つある。一つは、位置や形や大きさのあいまいな物を記述する「ファジー・モデリング」、もう一つは、位置や形や大きさのあいまいな物を描画する「ファジー・レンダリング」である。実用的には、表現あつての記述であるから、まずファジー・レンダリングの可能性を調べ、次にそれをどう記述するかを考えることにする。しかし同時に、表現をひとまず棚上げにして、利用者にとってはどのような記述ができれば最も使いやすいのか、理想的なモデリングのありかたについても考察する。

2. ファジー・プリミティブ

今回のシンポジウムのテーマは動物、植物である。しかし、いきなり動植物を扱うのは、あまりにも複雑すぎる。そこで「最初は単純にして考える」という科学の定石に従い、手始めに最も簡単な

直線 円 三角形 立方体 球

などを「ファジー的に描く」ことを考え、その方法としては、ファジー工学の定石に従って

■ 「物」のメンバーシップ関数を作る。

■ それを「物」の「密度」とみて描画する。

ということを試みる。

【2次元の場合】たとえば「ファジー三角形」を描くには、やや小さな三角形を密度100%で描き、その外側に適当な幅の境界領域を設け、100%から0%まで連続的に密度を下げる。具体的には、境界領域の幅を h 、内側からの距離を r とするとき、 $s=r/h$ で無次元化して、密度 ρ を

$$\rho = \exp(-\alpha s) \quad (1)$$

または

$$\rho = (1-s)^p \quad (2)$$

によって算定し、「物」の色と背景の色を $\rho : (1-\rho)$ で混合する。同時使用できる色数の少ない機種の場合には、背景色の上に「物」の色を確率 ρ で

打点する。頂点の近傍に関しては、

1案) 内側(密度1の部分)の三角形の頂点を中心とする半径hの円を「境界外縁」とする。

2案) 「辺」の部分の境界外縁を延長して「外縁三角形」を作り、それと頂点の間を(1)式または(2)式で補間する。

という二つの扱い方が考えられるが、頂点が鋭角の場合、1案だと丸くなりすぎ、2案だと形の印象が強くなりすぎるので、両案で算出された値を足して2で割る(または適当な比率で「重み付き加算」する)。

このような方法で描画した

ファジー円	ファジー三角形	ファジー正方形
ファジー直線	ファジー曲線	

の例をスライドで示す。

【3次元の場合】 大別して、

1案) まず、普通の方法でレンダリングして2次元画像を作ってしまった、それをぼかす。

2案) 3次元的に中核領域(密度1の部分)と境界領域を定義して、それを普通の方法でレンダリングする。

という二つの方法が考えられる。前者の方が簡単であるが、厳密に言えば後者の方が「本来の扱いかた」であり、本論文のタイトルに用いた「ファジー・オブジェクト」というのは、後者のようなモデルを指す。なお、

3案) 図形プリミティブとしてメタボールを使用し、その生成関数を利用して境界領域の範囲と透明度をコントロールする。

という方式を採用できれば、更に自然な描画が可能になる。

2次元画像をぼかすには「拡散オペレータ」を作用させればよい。すなわち、左からi番目、上からj番目のピクセルのRGB成分値を r^{ij} , g^{ij} , b^{ij} とするとき、

$$\text{新}r^{ij} = (1 - \varepsilon) r^{ij} + \varepsilon (r^{ij-1} + r^{ij+1} + r^{i-1,j} + r^{i+1,j}) / 4 \quad (3)$$

(ただし ε は小さな正数、 g^{ij} , b^{ij} についても同様) という操作を、ぼかしたい領域の全部の点について繰り返し適用する。別案として、

■ やや広い範囲の重み付き平均をとる。

■ 逆に、ある点のrgb値をその周辺のピクセルに少しずつ「重み付き加算」していく。

などの方法も考えられるが、いずれも(ほとんど)同じ結果になることが理論的に知られている。

次に、第2案の、3次元的ファジー・プリミティブについて考える。このモデリング(中核領域と境界領域の定義)については、べつに難しい点はない。問題は、それをいかにしてレンダリングするかである。

レイトレーシングの場合には、境界領域を半透明物体として扱い、透明度を

連続的に変えることができれば理想的である。実際には、透明度を可変にできなくても、透明度をやや低めにしておけば、適当に輪郭がぼけてくれるので、一応の目的は達することができる。いづれにしても境界領域の表面で鏡面反射などが出ないように配慮する必要がある。

欲をいえば、半透明領域における散乱光をなるべく正確に描画したい。これには、ラディオシティ的な扱いをする方が有利である。しかし、単にこれだけのためにラディオシティを採用するのはもったいないし、ラディオシティのプログラムが常に散乱を扱ってくれるわけでもない。プログラムを自作するのであれば、境界領域の計算をするときにだけ、横から入射する光を考慮するのがよさそうである。

スキャンラインの場合には、あまり適当な方法がない。物体の外縁（輪郭線上の辺）を検出し、その外側に「ぼかし部分」を付け加えて描画することは原理的に可能である。アンティ・エイリアシングのために「背景色との重み付き平均をとる機能」がついていれば、そこを改造してぼかす、という便法がみつかるかもしれない。しかし、いづれにしても、結局は2次元的处理（前記の第1案）と同じことになってしまう。

3次元ファジー・プリミティブの描画例をスライドで示す。これはレイトレーシングで描いたものである。

3. シンセティック・デフォーメーション

輪郭をぼかすと、「大きさ」は確かにあいまいになるが、「形」はそれほどあいまいにならない。たとえば上述の方法で表示したファジー円は、どう見ても「輪郭のぼけた円」であって、「なんとなく丸い形」にはなってくれない。まだ「幾何学的な堅さ」「積み木のような感じ」が強く、樹木の柔らかい自然な形にはほど遠い。

そこで原形に「ゆがみ」を加えて、丸過ぎる感じを弱めることにする。この際、ゆがみに周期性などがあると別の印象が付加されてしまうので、なるべく不規則な変形を与えることが望ましい。それには

フラクタル
マルコフ過程
白雑音にフィルタを掛ける

などがまず考えられるが、本論文では、より簡単で、樹木の表現に適する方法として、次のようなアルゴリズムを提案したい：

- step-1 原形をAとし、Aの外縁に近い部分と中心に近い部分を取り除いた残りをBとする。
- step-2 B上の一様乱数によりn個の点 P_1, P_2, \dots, P_n を定める。
- step-3 各 P_i から外縁までの距離 r_i を計算し、 P_i を中心として r_i よりも少し大きな半径 R_i の円（球）の内部を C_i とする。
- step-4 $A \cup C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_n$ を最終図形とする。

具体的には、たとえば、Aの外縁から（重心までの距離の）10%以内の点と、重心（から外縁までの距離の）10%以内の点を取り除いてBを作り、点数nとしては40～100ぐらいを用い、 r_i の1.1倍を R_i とする。このようにして得られる最終図形は、精密に描画すると凹凸が目立って不自然になるが、ぼかして表示すれば適度にメリハリのきいた感じになってくれる。

4. スパース・ボール

実際の樹木の場合には、コア部分がソリッド（ぎっしり詰まっている状態）でない。葉は外縁近くが密で、中心部分には空間が多い。簡単にいえば、ゴム風船のような密度分布になっている。もう少し詳しくいうと、一番外側に前記のような「ファジー境界領域」があって、その少し内側に密度の最も高い層があり、もっと内側は（幹や枝を除けば）中空に近い。更に詳しくいえば、最も密度の高い部分の、円周方向の密度分布は一樣ではなく、いくつかの塊状になっている。

このような構造を反映する描画方法として、上記の密度に比例して「点」を打つ、というやりかたが考えられる。木の高さが5m、1枚の葉の長さが5cmとすると、葉の大きさは木の大きさの1%ぐらいだから、画面上の木の高さが百ピクセルないし数百ピクセル程度なら、葉の大きさは1ピクセルないし数ピクセルとなり、「点」で表しても不自然ではない。ただし、正確に葉の枚数分の点を打つわけではなく、「粗密の感じ」を出すための手段であるから、平均ピクセル密度でいって20～30%ぐらいをメドに打点すればよい（50%を越すとベタに近い感じになってしまう）。

具体的には、前記のバタベーション操作とからめて、次のように処理するとよい。

- 薄い密度（たとえば10%ぐらい）で領域A内一様に打点する。
- 領域B内に中心をもつ星雲状のファジー・オブジェクト（半径 R_1 の球、または長径 R_1 の楕円体の内部に、一樣分布乱数で位置を決めてピクセル密度20%程度を打点したもの）をn個発生させる。

この方法によるいくつかの描画例をスライドで紹介する。遠景の木としては、かなり自然な表現になっていると思う。

5. シンボリックな表現

ところで、位置や形や大きさのあいまいな物を描画する手段は、輪郭をぼかして描くことだけではない。その反対に、形状を極端に単純化し、多様な形の共通部分を描くことによって 象徴的に「それらしさ」を伝える方法がある。個体間の差異のある部分を切り捨て、共通な部分だけを描画すると何割かの情報が欠落するが、人間の想像力が補って「それらしさ」を感じさせてくれるのである。

人間の眼はハードウェアとしては非常に高い解像度をもっているが、普通は

細部を詳しく見ることはせず、かなりマクロに物を見ている。近眼や乱視の人はハードウェアとしても相当おぼろげにしか景色を見ることができず、あとを想像力で補完している。コンピュータ・グラフィックスにおいても、「近眼の人に見える程度」のものを描いてやれば一応充分で、それ以上の細部は省略しても済むわけである。

たとえば、Lシステムで樹木を描く場合、最先端の小枝までを全部生成するのが普通であるが、途中まででやめて適当に葉を浮かせておいても、見る人にはたいてい気づかれない。葉と小枝の「見える面積」…ピクセル数…は葉の方がはるかに大きく、小枝の方はネグリジブルである。心配だったら、葉と葉の隙間に、ところどころ見え隠れする小枝を（Lシステムとは関係なく）適当にちりばめておけばよいであろう。

この際、不自然さを目立たせないためには、描かれた「中枝」の終端が、前記の「葉群を表す星雲状のオブジェクト」に接続していることが望ましい。それには、Lシステムの先端に星雲を発生させてもよいし、逆に星雲の中心から最寄りのLシステムの終点（または分岐点）まで小枝を張ってもよい。

幹と枝を描画するための図形プリミティブとしては、曲率を連続的にコントロールできて、断面形状も自由に変えられる「フレキシブル・パイプ要素」を試作した。

6. スケルトン

ここまでは、位置や形や大きさのあいまいな物を描画する「ファジー・レンダラ」の実現方法について論じ、いくつかのツールを提案した。実際の描画に際して、これらのツールを直接に利用してもよいが、それには（当初の目標と違って）かなり細かく形状や位置の指定しなければならない。その煩雑さを避けるために「ファジー・モデラ」を作ることを考える。

周知のとおり、モデラにはいろいろな抽象化レベルがある。動植物の大きさや形は、種族を限定すればだいたい一定の範囲にあるから、そのようなデータベースを用意しておけば、特にデータを入れなくても「常識的な値に従って」描画することができる。

しかし、利用者側に「だいたい、こんな形」というイメージがあって、それに合わせて絵づくりをする場合には、利用者の意図を描画システムに伝達するための工夫が必要である。また、コンピュータが描画した結果に手を入れて、自分の好みの枝ぶりに修正するためのエディタ（整形ツール）を実現するためにも、ある程度ラフな形の指定はできるようにしておきたい。

その一案として、

■ 利用者は骨格を記述する。

■ システムはそれに「適当に」肉づけして描画する。

という方法が考えられる。本論文のタイトル中の「スケルトン」というのは、このための骨格記述のことである。

樹木の場合、骨格に相当するのは幹と枝の中心線であり、最低限の情報としては主要な分岐点位置を与えればよい。

7. その他の方法

位置や形や大きさのあいまいな物を描画する方法は、これだけで充分というわけではなく、ほかにもまだいろいろな可能性が考えられる。現在、各種の試みをテスト中なので、発表日に間に合えば報告したい。