

1P-2

3次元テクスチャを用いた布の表示

木元宏次[†] 大野義夫[‡]
慶應義塾大学

1 はじめに

微細な形状を持つ物体, 外観が複雑なシーンを描画するための技法には, 全体形状をリアルに表現するアプローチと, 微妙な輝度, 色合いを表現するアプローチの2つがある.

布について, 木元らは後者のアプローチをとり, 布の質感をもつテクスチャを生成してリアルな布の表示を行った [3][4]. また, 最近, 安田らによって布の反射モデルを導入して布の表示を行う技法が紹介された [5]. しかし, どちらの場合もそれぞれ問題点があり, まだ改良の余地が十分に残されている.

ここで述べる布の表示技法は, 緻密な形状をモデリングすることなしに布の材質感を得るためのものであり, 後者のアプローチの1つである. 布のリアルな表示を実現するために, 布の材質感を表現する新しい形式の3次元テクスチャを導入する. この3次元テクスチャは, 従来の単純なテクスチャではなく, J. Kajiya らが提案するテクセル [2] を布に適用できるように改良を加えたものである. ここではこの3次元テクスチャをボリューム・テクスチャと呼ぶことにする. このテクスチャを用いて良好な布の材質感を表示することができた.

2 布を表現するボリューム・テクスチャ

ボリューム・テクスチャは従来のボリューム・アンシテイの考え方を拡張したものであり, ある3次元空間の様相を表現する拡張された一種のボリューム・データである. 3次元配列で表現するボリューム・テクスチャの個々の要素をセルと呼ぶ. セルには以下の3種類の要素が設定される. 第1要素 ρ は, セルが占める空間内に存在する物体の割合を示す密度である. 第2要素 v は, セル内に存在する物体の特徴を代表できるパラメータである. そして, 第3要素 f は, セル内の物体の表面特性を表現するシェーディング関数である.

布は糸をいろいろなパターンを用いて織ってつくられており, また, 糸は繊維を集束させてつくられている [1]. 布を表現するボリューム・テクスチャを作成するときには, この布を構成する最小単位の繊維まで考慮して行う. 布のボリューム・テクスチャは繊維が層状にある規則をもって集まったものと考え, 各セルについて, それぞれの要素を以下のようにして設定する.

第1要素 ρ : 実際の布は表面よりも内部の方が繊維の集束密度が高いと考えられる. また, 布のある部分の繊維密度と別のある部分のそれとがまったく同じということは考えにくい. このことをボリューム内の密度分布に十分反映させ各セルの第1要素 ρ を設定する.

第2要素 v : 第2要素 v は糸をつくる繊維に注目して設定する. まず, 糸を図1のように考える. これは, 繊維が代表的な2つの流れに沿って束になってまとめられており, これらの束(ここでは繊維束と呼ぶ)が絡まり合っ糸をつくっていることを示す. 繊維束をつくる個々の繊維に注目すると, その表面の接線ベクトルは図1の拡大図のようになると考えられる. 繊維の特徴を代表するパラメータ, すなわち第2要素 v にこの接線ベクトルを設定する. 具体的には以下のようにしてベクトル v を計算する.

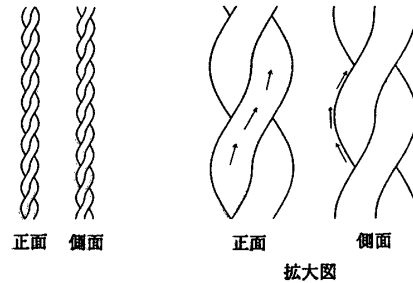


図1: 糸と繊維の流れ

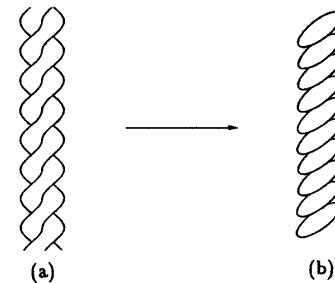


図2: 糸のモデル

1. 繊維の流れの方向を考慮して縦糸, 横糸それぞれに基準となるベクトル,
 $v_V = [x_{bV}, y_{bV}, 0], v_H = [x_{bH}, y_{bH}, 0]$
を用意する.
2. 乱数を用いてベクトル v_V, v_H をそれぞれ摂動し, v'_V, v'_H を求める.
3. 布の織り方のパターンを考慮して, v'_V, v'_H のいずれかをセルの第2要素 v として設定する.

第3要素 f : 第3要素 f として繊維の表面特性を表現するシェーディング関数を用意する. ボリューム内にただ1種類の繊維しか存在しない場合を考えることにすれば, 用意するシェーディング関数は1つで十分である. ここでは, まず1つ基準となるシェーディング関数を用意し, その反射係数を第3要素 f として設定する. このシェーディング関数の基になる繊維のための反射モデル(この反射モデルについては後述)は, 拡散反射成分と鏡面反射成分から成る. 鏡面反射についてはボリュームの上層部分のほうが比較的多く, また, 拡散反射についてはボリュームの下層部分のほうが多く反射すると考えられる [5]. このことを考慮し, 乱数を用いてさらに乱雑さを加えてやり, 各セルの第3要素 f を設定する.

3 繊維のための反射モデル

繊維のための反射モデルは, ボリューム・テクスチャの第3要素 f のシェーディング関数の基になるものである. まず, 繊維を捻り合わせた糸の形状を図2(a)のように単純化して考える. そして, 捻り合わされている繊維の表面形状を図2(b)のような楕円体とみなして繊維の反射モデルを構築する. ボリューム・テクスチャの第2要素 v

Rendering Cloth Objects with Three Dimensional Texture

[†]KIMOTO, Hirotsugu

[‡]OHNO, Yoshio

Keio University

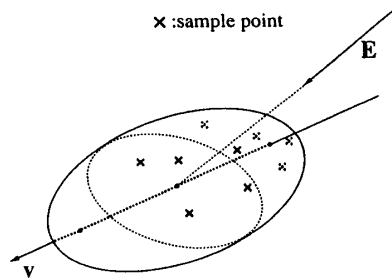
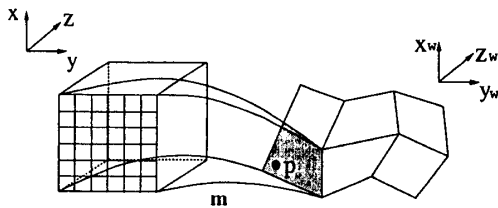


図 3: 繊維の反射モデル

図 4: ワールド座標空間から
ボリューム・テクスチャ空間への写像 m

として与えられる 3次元ベクトルを楕円体の 1つの軸方向に対応させる (図 3). 視方向 E から決定される楕円体の可視部分から反射される光の量を計算して繊維の輝度とする. 繊維からの反射光は拡散反射成分と鏡面反射成分のみを考慮することにする.

拡散反射成分は単純に Lambert のシェーディング・モデルを繊維の形状と仮定した楕円体の可視部分に適用することで求める. 分配レイ・トレーシングに利用されるジッター・サンプリングを用いて楕円体上の点を複数箇所選択する (図 3の \times 印). 各点での輝度を計算し, 平均をとって繊維の拡散反射成分とする.

鏡面反射成分は Phong のモデルを適用する. 拡散反射成分と同様にして楕円体の可視部分上の点を複数箇所選び, 各点での鏡面反射成分を計算する. 求められた値の平均値で鏡面反射成分を表現する.

4 ボリューム・テクスチャのマッピング

物体はポリゴン (四角形) のみで構成されているとする. ポリゴンはワールド座標空間 (x_w, y_w, z_w) に定義されており, ボリューム・テクスチャは別のローカルな座標空間 (ボリューム・テクスチャ空間) (x, y, z) に定義されているとする.

描画すべきポリゴン上のある点を p とする. まず最初に, ポリゴンとボリューム・テクスチャの上面 (ここではボリューム・テクスチャ空間における xy 平面に平行な二面の内の一方) とを一対一に対応させる写像 m を求める (図 4). 写像 m を用いて, 点 p , 点 p における法線ベクトル, 視線ベクトル, そして光源ベクトルをボリューム・テクスチャ空間にマッピングする.

次にポリゴン上にマッピングする輝度を求める. 点 p における輝度を以下のアルゴリズムで計算する.

1. 点 p に対応するボリューム・テクスチャのセルを選択する.
2. 写像 m を用いてマッピングした視線ベクトル方向に 1 で求めたセルを始点としてボリューム・テクスチャ内をトレースし, 視線が通過したすべてのセルのリストを求める.
3. ボリューム・テクスチャ内を通過する視線上に等間隔にサンプル点を設定し, 視点側のサンプル点から順に以下の操作を行う.

- (a) サンプル点に対応するセル (2 で求めたセル・リストから選択) から各光源方向にボリューム・テクスチャ内をトレースする (1, 2 の方法を同様に適用する). 各光源について, 得られたセル・リストからサンプル点に届く光の量を求め, それらの和をとってサンプル点における照度とする.
- (b) 現サンプル点に至るまでの視線に沿った透過率を計算し, もし 0 でないならば, その透過率, 繊維のための反射モデルを適用して得られるシェーディング関数, そして 3a で求めた照度を用いて輝度を計算する.
- (c) 透過率が 0 になるか, 最後のサンプル点に至るまで 3a, 3b の操作を繰り返す.

4. 3 で求めたすべてのサンプル点の輝度の総和を計算し, 平面にマッピングするボリューム・テクスチャの輝度とする.

5 表示例

ボリューム・テクスチャを用いた布の表示例を図 5 に示す. 布は 64 枚の四角形から成り, また, 解像度は 426×266 である.

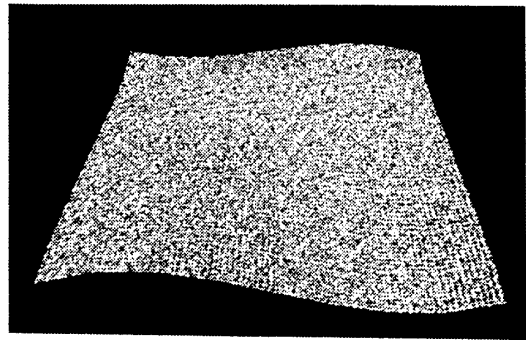


図 5: 布

6 おわりに

本稿では新しい形の 3次元テクスチャを用いて布の質感を表示する技法について述べた. この技法を用いて良好な布の質感表示を行えることを確認した. ここでは, 布についてのボリューム・テクスチャについてしか言及していないが, 他の微細な形状をもつ物体についても適用することができると思う. 今後の課題は, 様々な物体に対する適切なテクスチャの作成技法を開発することである. 現在は, 対象物体として, 髪の毛, 皮膚, 流水などを考えている.

参考文献

- [1] 石川欣造 監修, “繊維 (三訂版),” 東京電機大学出版局, 1986.
- [2] Kajiya, J. T. and Kay, T. L., “Rendering Fur with Three Dimensional Textures,” *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 89)*, Vol. 23, No. 3, July 1989, pp. 271-280.
- [3] 木元宏次, 大野義夫, “テクスチャ・マッピングによる布の材質感表示,” 情報処理学会第 37 回全国大会講演論文集, Sept. 1988, pp. 1685-1686.
- [4] 木元宏次, 大野義夫, “二次元テクスチャを用いた布の表示,” 日本ソフトウェア学会第 5 回大会論文集, Sept. 1988, pp. 185-188.
- [5] 安田孝美, 鈴木克知, 横井茂樹, 鳥脇純一郎, 稲垣勝彦, “異方性を考慮した布地の光反射モデル,” 第 5 回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, Nov. 1989, pp. 215-223.