

弾性体メッシュを応用した皮革テクスチャの生成手法

櫻井 快勢[†] 宮田 一乗[†] 坂口 嘉之[‡]

[†]北陸先端科学技術大学院大学 [‡]デジタルファッション(株)

本報告では、弾性体メッシュを応用した皮革テクスチャの生成手法を提案する。まず、弾性体で構成されたメッシュに力を加え、皮革テクスチャの概略形状を生成する。次に、生成したメッシュ形状から、皮革の細部形状である皮丘と皮溝を生成する。皮丘にはブロップモデルを生成し、その差集合演算により、最終的な微細形状を付加する。また、減衰するコサイン関数を生成し、皮溝を生成する。以上の生成段階を経て、本革の質感に近いテクスチャの生成が可能になった。

Generating a leather texture by a mass-spring model

Kaisei Sakurai[†] Kazunori Miyata[†] Yoshiyuki Sakaguchi[‡]

[†]Japan Advanced Institute of Science and Technology [‡]Digital Fashion Ltd.

This paper proposes a method for generating a leather texture by means of a mass-spring model. The method first considers a triangle mesh, which composed spring models for each vertex, and then forces are added to all vertices of the triangle mesh in order to generate an abstract mesh of leather. Next, crista cutes and sulcus cutes of the leather texture are made from the generated abstract mesh. The detailed crista cutes of texture are generated by subtracting a blobby model from bumps. The detailed sulcus cutes are generated by a fading cosine function.

1. はじめに

本報告では、皮革テクスチャの生成手法について述べる。

皮革は古くから我々の身近に存在しており、かばんや財布などの皮革製品や、自動車の内装などに利用されている。皮シボと呼称される素材は、自動車の内装材として幅広く利用されており、内装の質感を大きく左右する要因である。高級車では本皮を使用している例もあるが、ダッシュボード周りでは皮シボのパターンを金型に転写してプラスチック成型したものが多用される。

これらのものをCGで表現しようするとき、皮革をカメラで撮影する作業やクリエイターがCGで作成する作業などが必要である。しかし、この作業は手間がかかり、作業効率が悪い。したがって、自動的に皮革テクスチャを

生成することが求められている。

本報告では、細胞の成長という概念を考慮し、質感の高い皮革テクスチャの自動生成手法について述べる。

2. 関連研究

皮革テクスチャの生成法はこれまでもいくつか提案されている。

例えば、実際の皮革から法線マップを生成し、皮革テクスチャを生成する手法[1][2]が挙げられる。A.Haraらの手法[1]では、主に皮革をデータ化するときの解析手法を提案している。また、M.Nahasらの手法[2]では、スキャナを用いた測定を提案している。

一方、階層的に皮革テクスチャを生成する手法[3][4]

も提案されている。石井らの手法[3]は、皮膚の表面形状の特徴である皮野・皮溝を階層構造化してモデル化している。そして、皮溝パターンをボロノイ分割法で生成し、皮野の断面形状をベジエ曲線で求めている。Y.Wuらの手法[4]では、ドロネー三角化を用いて輪郭を生成し、細部の形状を生成する手法を提案している。

また、皮革の細かな形状ではなく、しわを生成する手法[5]も提案されている。これは三角形メッシュで体の部位を形成し、その部位の動きによってしわを生成する手法を提案している。

さらに、物体表面をパーティクルモデルにより擬似ボロノイ分割し、サブディビジョン曲面で物体表面の詳細形状を生成する手法[6]がある。

これらに対して、成長の概念を持ってセルシミュレーションを行い、プロップモデルによる皮革テクスチャの生成手法[7]がある。本手法は、この手法と同様に成長の概念を持つが、生物の皮膚細胞を弾性体でモデル化することで、皮溝の複雑な起伏までも表現可能としている。

3. 皮革モデルについて

本章では、皮膚の構造と成長を考慮した皮革モデルについて述べる。

3.1. 皮革モデルの概略

図 3.1.1 に示すように、皮革の盛り上がっている部分を皮丘、皮革の溝を皮溝と呼ぶ。

皮膚の形状は、皮膚の細胞の成長によって形成されると仮定して皮革モデルを考える。

本手法における細胞の成長とは、隣接する細胞同士が相互作用することによって、形状が変化することを指す。そして、成長終わった細胞が、皮革表面の形状を形成するものとする。細胞の成長をモデル化してシミュレーションした結果を基に、後述する手法を用いて皮革の細部形状を構成する。

実際に図 3.1.1 に示す革のサンプルを観察した結果を考慮し、皮丘の形状を生成する。例えば、皮丘の表面には窪みが見受けられるため、窪ませるためのノイズを付加する。また、皮溝には、複数の溝が見受けられるため、複数の溝を構成する処理を施す。

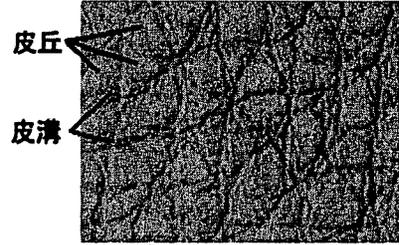


図 3.1.1 皮革

3.2. 皮革の構造

皮膚は、図 3.2.1 のように表皮、真皮、皮下組織の 3 つの分類ができる[8]。

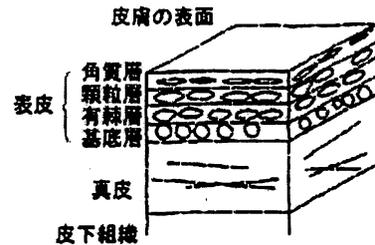


図 3.2.1 皮膚構造

表皮が一番外側の層である。数種類の細胞の集まりで構成されており、表皮はさらに細かく、外側から角質層、顆粒層、有棘層、基底層の4つに分類できる。基底層から細胞分裂をし、成長し、最終的に角質層へ移動する。角質層は皮膚の表面である。

真皮は、細胞が少なく、たんぱく質が主成分の層である。コラーゲンという繊維性のたんぱく質が皮膚の強靭性を、エラスチンというたんぱく質が弾力性を維持しており、表皮の10倍ほどの厚さがある。真皮中の細胞は、常にあるわけではなく、必要に応じて作られる。

皮下組織は、皮下脂肪が蓄えられている層である皮下組織の厚さは皮下脂肪の量に依存する。

また、革は皮膚をなめしたものをいう。

3.3. 皮革モデルの提案

皮膚をなめすことでの皮膚と革の形状の変化はないものとし、革の観察結果と3.2章の皮膚の構造を合わせて考察した。

革を観察することで次のことがわかる。

- 隣接している皮丘の大きさが似ている。
- 隣接している皮溝の幅が似ている。

- 遠くから見ると皮丘と皮溝は全体として大きな模様のように見える。
- 皮丘に細かな窪みがある。
- 一つの皮溝には、細かな複数の溝がある。

3.2章の皮革の構造から、これらの皮膚表面の特徴は皮膚の構造や皮膚細胞の成長に依存すると仮定する。この仮定から、図 3.3.1 のように、皮膚の深い部分から表面へと細胞が成長する過程で、細胞同士の相互作用により、細胞の大きさが変わり、皮膚表面の形状が変わると考える。

細胞の成長を、以下のようにモデル化する。皮溝を二次元平面上の三角形メッシュで近似し、メッシュの三角形を細胞と仮定して成長させる。成長し終わったメッシュを用いて、メッシュを構成する三角形で皮丘を生成し、メッシュの辺で皮溝の細部形状を生成する。

皮丘の生成には、三次元空間内に滑らかな盛り上がりを作る関数を用いる。その後、表面に細かな窪みを付加する。

皮溝の形状は、各皮丘の間を関数で補間し、生成する。ここで、補間には溝を複数生成する関数を用いる。

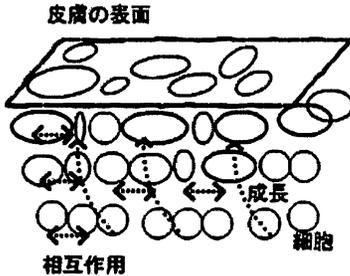


図 3.3.1 成長の概念

4. 皮革テクスチャの生成法

本章では、成長および、皮丘と皮溝の細部形状生成の実装法について述べる。

4.1. 初期メッシュの生成

各細胞を弾性体でモデル化し、メッシュで近似された皮溝の形状を形成する。成長前の皮革細胞の大きさは、ほとんど一様であるとし、初期メッシュには、メッシュの各頂点の座標にノイズを付加したものをを用いる。

4.2. 成長

本手法の成長モデルでは、細胞単体が周囲に影響されることなく大きくなるのではなく、隣接する細胞同士が

相互作用することで成長するものとする。細胞の成長にしたがって、三角形が膨張するように三角形の重心から外に向かって各頂点に力を付加する。膨張力の付加により、隣接する三角形に力が伝播するため、自らの形状を変化すると同時に、周りの三角形にも影響を与える。

また、細胞の成長には限界があるものとし、細胞が閾値以上の面積にならないように制約を設ける。

細胞は弾性体の三角形を用いてモデル化する。弾性体の動きは、式(1)の微分方程式を解く。

$$m\ddot{x} + d\dot{x} + kx = 0 \cdots(1)$$

ここで、 m は三角形の頂点の重さ、 d は減衰係数、 k はばね定数、 $x (x \in R^3)$ はノードの変位を示す。

細胞の成長に際し、式(1)の微分方程式に、三角形の重心から頂点の方向に、距離に依存した力 $G (G \in R^3)$ を付加し、式(2)を全ての弾性体に対して解く。

$$G + m\ddot{x} + d\dot{x} + kx = 0 \cdots(2)$$

ここでは、成長の限界として三角形の面積に制限をつけているため、式(1)を解くとメッシュの形状は定常状態となり変化しなくなる。その状態をメッシュの最終的な形状とする。

4.3. 皮丘の細部形状

はじめに、図 4.3.1(a) に示すように、二次元平面上でエルミート曲線 H を用いて、メッシュの三角形の角を丸める。図 4.3.1(a) に示す $\triangle ABC$ があるとき、ベクトル v_1, v_2 を用いて中点 M から中点 L にエルミート曲線 H を生成する。ベクトル v_1, v_2 に係数 α を掛けることにより、皮丘の輪郭の形状を変化させる。同様の処理を頂点 B, C にも適用する。

次に、図 4.3.1(b) に示すように、三次元空間内での三角形の重心 w を法線方向に、ユーザーが設定した皮丘の高さ β 分を移動させた点 c を求め、点 c と求めたエルミート曲線 H を式(3)で補間し、皮丘を作る。

$$\beta(1-r^n) \cdots(3)$$

$$r = \|q - c_i\| / \|h_i - c_i\|$$

ここで c_i は三角形の重心、 h_i はエルミート曲線 H のサンプル点、 q はエルミート曲線と三角形の重心の間の任意の点、 β は皮丘の高さの係数であり、 n により皮丘の盛り上がり方を設定する。

その後、生成した皮丘の表面にノイズを付加する。ノイズは図 4.3.1(c) に示すようにプロビモデル[9]の差集合演算[10]として付加する。ここで、プロビモデルは

ガウシアンを用いる。ガウシアンを決定する係数は、あらかじめ設定しておく。窪みの数は全三角形に対して一定値とする、窪みの位置はランダムに配置する。

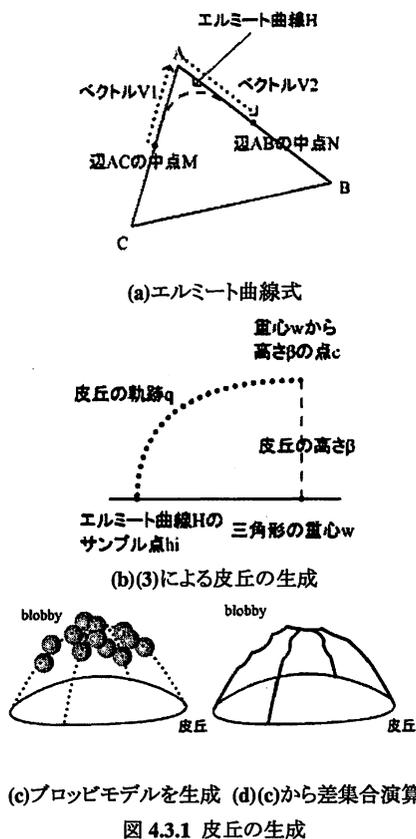


図 4.3.1 皮丘の生成

4.4. 皮溝の細部形状

図 4.4.1 に示すように、皮丘 A と B の間に皮溝を生成する。皮溝の形状は、複数の溝を表現するために、減衰するコサイン関数を用いる。

皮溝の幅は、成長前後のメッシュの辺の長さの差とする。成長後に短くなっているメッシュは皮溝の幅が狭く、長いメッシュは広がる。これは、皮丘に圧されている部分は皮溝も潰されると仮定した結果である。

皮溝生成に用いる、減衰するコサイン関数は式(4)で与えられる。

$$\begin{cases} -\gamma & \text{if } p = c_m \\ -\gamma/d \cdot \cos(n\pi \cdot d) & \text{otherwise} \end{cases} \dots(4)$$

$$d = \|c_m - p\|/w$$

ここで、 γ は皮溝の深さの最大値であり、 c_m はメッシュの位置、 p は、二次元上で c_m の法線にある任意の点、 n は周波数、 w は幅を決定する係数であ

る。幅は、メッシュの辺の長さを w に代入する。

各メッシュに直行する点 p に対して式(4)で求めた値を三次元空間内の高さとし、皮溝の表面形状を生成する。



図 4.4.1 皮溝の生成

5. 結果

図 5.1(a) に示すメッシュを初期メッシュとし成長させ、成長後の状態として図 5.1.1(b)の結果を得る。図 5.1(b)のメッシュから皮丘と皮溝を生成したものを図 5.2 に示す。このときの各パラメータは、初期メッシュの一辺の長さは 140、初期メッシュの座標のノイズは 0.1、成長の制約は面積の 1.5 倍まで、ばね定数は 0.1、エルミート曲線生成時のベクトルの係数 α は 2.3、皮丘の高さ β は 0.03、皮丘の盛り上がり方を決定する係数 n は 5、皮丘のノイズは各三角形あたり 10 個のブロッピを生成し、ブロッピの半径は 0.1、皮溝の幅を決定する係数 w は 0.05 である。

Intel Pentium 4 2.80GHz を用いて実験したとき、メッシュの成長は約 44 秒、皮丘の生成は約 11 秒、皮溝の生成は 0.05 秒の時間を要した。

皮丘と皮溝のパラメータのみを変更した結果を図 5.3 に示す。

図 5.3(a) はエルミート曲線生成時のベクトルの係数 α は 1.3、皮丘の高さ β は 0.06、係数 n は 5、皮丘のノイズは各三角形あたり 10 個のブロッピを生成し、ブロッピの半径は 0.1、係数 w は 0.1 である。

図 5.3(b)は成長の制約は面積の 1.5 倍まで、ばね定数は 0.1、エルミート曲線生成時のベクトルの係数 α は 2.3、皮丘の高さ β は 0.01、皮丘の盛り上がり方を決定する係数 n は 7、皮丘のノイズは各三角形あたり 25 個のブロッピを生成し、ブロッピの半径は 0.1、皮溝の幅を決定する係数 w は 0.05 である。

図 5.4 は、成長の制約は面積の 1.7 倍まで、ばね定数は 0.1、エルミート曲線生成時のベクトルの係数 α は 2.3、皮丘の高さ β は 0.03、皮丘の盛り上がり方を決定する係数 n は 5、皮丘のノイズは各三角形あたり 10 個のブロッピを生成し、ブロッピの半径は 0.1、皮溝の幅を決定する係数 w は 0.05 である。

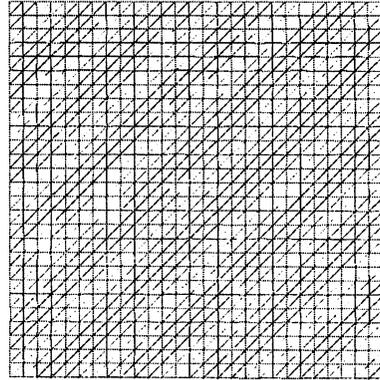
6. まとめ

以上、弾性体メッシュを応用した皮革テクスチャの生成手法を提案した。

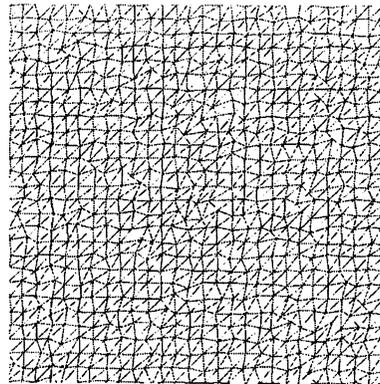
本手法では弾性体を用いて細胞の成長をモデル化し、細胞の成長シミュレーションを行った。成長に条件をつけ、定常状態に帰着したとき、メッシュから皮丘と皮溝を生成し、皮革テクスチャを生成した。その結果、皮革の特徴を含んだ皮革テクスチャを得ることができた。また、係数を設定することで、さまざまな皮革テクスチャを得ることができた。

しかし、初期メッシュを三角形メッシュとしているため、生成した皮革テクスチャにおける皮丘の形状はほぼ三角形になる。また、隣接する三角形によって三角形の成長の仕方が変わるため、初期メッシュでの三角形の隣接情報を適切に設定する必要がある。実際の皮革は、3.2 に記した特徴以外にも、皮丘の形状が三角形だけでなく、さまざまな形状である。そのため、今後はこの特徴を含ませることで、さらに現実の皮革に近いテクスチャを得ることができるだろう。

また、本手法で生成した皮革テクスチャは、高さ情報と法線情報を持っているため、バンプマッピング[11]などのレンダリング手法に応用できる。



(a)成長前のメッシュ



(b)成長後のメッシュ

図 5.1 メッシュの成長

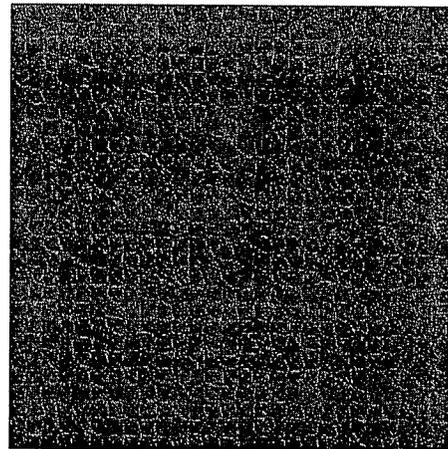
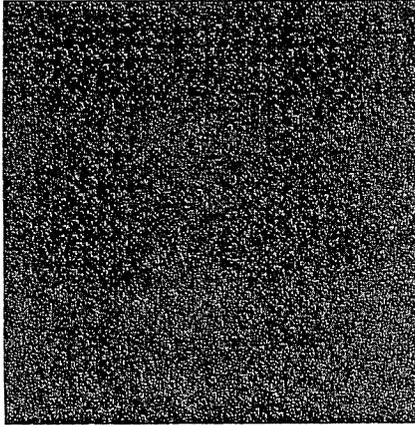
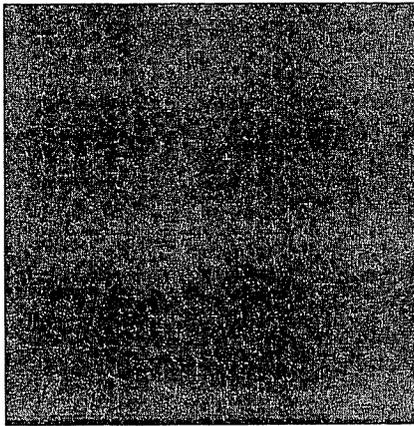


図 5.2 皮革テクスチャ



(a)皮丘を丸く、高くした場合



(b)皮丘を低く生成した場合

図 5.3 図 5.2 の係数を変更した場合

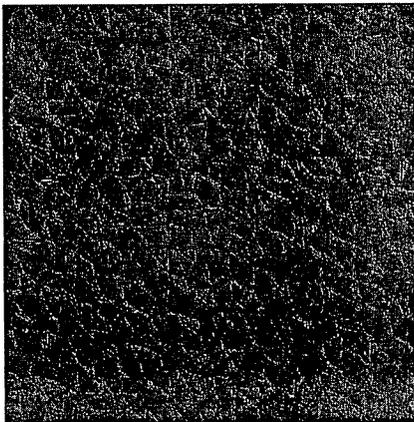


図 5.4 成長の係数を変更した皮革テクスチャ

参考文献

[1] A. Haro, B. Guenter and I. Essa, "Real-time, photo-realistic, physically based rendering of fine scale human skin structure", Proc. Eurographics Workshop on Rendering Techniques 2001, 53-62, 2001

[2] M. Nahas, H. Huitric, M. Rioux and J. Hurley, "Image Synthesis Using Skin Texture Recording", The Visual Computer 6, 6, 337-343, 1990

[3] 石井, 安田, 横井, 鳥越, "表面の微細形状に注目した皮膚の質感表現の一手法", 情処論誌, Vol.32, No.5, 645-654, 1991.

[4] Y. Wu, P. Kalra, and N. M. Thalmann, "Simulation Of Static And Dynamic Wrinkles Of Skin", Proc. Computer Animation '96, 90-97, 1996

[5] Y. Bando, T. Kuratate and T. Nishita, "A Simple Method for Modeling Wrinkles on Human Skin", Proc. of Pacific Graphics 2002, pp.166-175, 2002-10

[6] T. Itoh, K. Miyata, K. Shimada, "Generation of Organic Textures with Controlled Anisotropy and Directionality via Packing, Rectangular and Elliptical Cells," Vol.23, No.3, pp.38-45 IEEE CG & A 2003

[7] 宮田一乗, 坂口嘉之, 今尾公二, 須崎亮太郎, "パーティクルとメタボールを用いた皮革テクスチャの生成法", 情報処理学会研究会報告 2006-CG-125, 3, to appear, 2006

[8] 服部道広, "スキんケアの科学", 装華房 (ISBN: 4-7853-8660-6) 1997年02月

[9] J. F. Blinn, "A Generalization of Algebraic Surface Drawing", ACM Transactions on Graphics (TOG) Volume 1, Issue 3 (July 1982) Pages: 235 - 256, 1982

[10] J. Bloomenthal, "Introduction to Implicit Surfaces." Morgan Kaufmann,

San Francisco, California, 1997.

[11] J. F. Blinn, "Simulation of wrinkled surfaces" Computer Graphics (SIGGRAPH '78 Proceedings) 12, 3, 286-292, 1978