

毛穴で構成される皮革形状のパターン生成

櫻井快勢[†] 宮田一乗[†] 松藤和夫[‡] 河合直樹[†]

[†]北陸先端科学技術大学院大学 [‡]㈱大日本印刷

複合毛穴分布図から複合毛穴の配置を求め、各複合毛穴に毛穴を発生させることで、皮革形状のパターンを生成する。複合毛穴分布図とは、近隣の複合毛穴の中心の分布を示す図であり、全ての中心点はこの分布に従って配置する。また、複合毛穴は、毛穴の集まりのことを指す。つづいて、各複合毛穴に対して毛穴の分布ルールを適用し、毛穴の位置を決定する。実際の皮革から求めた複合毛穴分布図を用いることで、毛穴で構成される皮革形状のリアルなパターンを生成できるようになる。

Generation of Leather pattern with pores

Kaisei SAKURAI[†] Kazunori MIYATA[†] Kazuo MATSUFUJI[‡] Naoki KAWAI[†]

[†]Japan Advanced Institute of Science and Technology [‡]Dai Nippon Printing Co., Ltd

This paper proposes a generation technique for pore pattern on leather texture. This method uses two steps for the distribution of pores. The first step distributes coordinates of pore-sets from a “neighbor distribution graph”, and the second step distributes coordinates of pores to the first coordinate. Then, the method generates the shape of each pore. The neighbor distribution graph indicates probability of existing neighbors for any point. Users can obtain realistic leather pore texture by using a neighbor distribution graph from real leather.

1. はじめに

皮革は古くから我々の身近に存在しており、鞆や財布、ベルト、衣類などの皮革製品、自動車の内装、その他のさまざまなものの質感を高めるために使われている。それらで使われる皮革形状は全て同じものではなく、用途にあった皮革が使われている。

皮革は、採取する動物の種類や皮膚の部位が違うことで、形状が異なり、それぞれ特徴を持っている。例えば、牛革では、皮丘と皮溝、血管があり、種類や部位により、さまざまな皮革のパターンが見られ、ワニなどの爬虫類では比較的皮丘が大きく、起伏が激しい、豚革では毛穴が目立ち複合毛穴につき、3つずつ毛穴がある、など、さまざまな特徴が挙げられる。

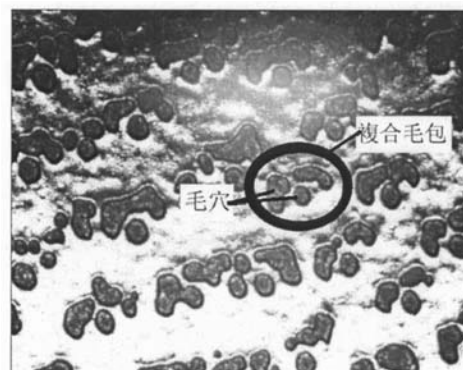


図 1. 毛穴で構成される皮革の拡大写真。毛穴の集まりが、複合毛穴。

本報告では、それらの中でも毛穴で構成される皮革形状に注目し、そのパターンの生成手法を提案する。毛穴で構成される皮革は、豚や馬、ヤギなど

の皮革に主に見られる。複合毛包とは、図 1 で見られるような毛穴の集まった部分を指す。

本手法では、毛穴のパターンを作るために、はじめに、複合毛包の位置を生成し、つづいて、複合毛包内に毛穴を生成させる。この 2 段階の生成手法を用いて、毛穴で構成される皮革形状を生成する。

2. 関連研究

本章では、本手法に関連した皮革のパターン生成手法と点の分布手法について述べる。

2. 1. 皮革のパターン生成

皮革に注目したパターン生成、テクスチャ生成はこれまでいくつか発表されている。

石井らの手法[1991 Ishii]は、皮膚の表面形状の特徴である皮丘・皮溝を階層構造化してモデル化している。そして、皮溝パターンをポ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[1996 Wu]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。

Bando らの手法[2002 Bando]では、皮革の形状ではなく、曲げによってできるしわを生成している。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している。

Itoh らの手法[2003 Itoh]ではある閉領域を擬似ポロノイ分割により敷き詰めを行い、サブディビジョンサーフェイスで詳細形状を生成する。

最近では、宮田らや[2006 Miyata]や筆者らの手法[2007 Sakurai]が報告されている。宮田らの手法では、皮革表面の細胞をパーティクルシステムによってシミュレーションし、その結果にドロネー三角化を行い、皮革の形状を生成している。この手法はこれまでの乱数によって生成していたものより、皮革の表面を考慮された手法になっている。筆者らの手法では、本革の血管に注目している。この手法ではバネモデルを用いて、皮革表面の皮溝を生成している。

本手法では、既存の研究で行われていない、毛穴で構成するような皮革形状を生成する。

2. 2. 点の分布

本手法では、複合毛包のパターンを作るとき、複合毛包の中心点を配置する。近隣の複合毛包の中心点との位置関係を示した図に基づき、点の配置を行う。後述する 3. 2. 章での複合毛包の中心点の生成にて、サンプリングのために一様な点の分布する既存の手法を参考にした。

Daniel の手法[2006 Daniel]や Ostromoukhov の手法[2007 Victor]は、高速に均一に点を分布させる手法である。

Daniel の手法では、Poisson-disk 分布を高速に行う手法を提案している。Poisson-disk 分布とは、分布された各点からの指定された半径内には他の点を分布しないという処理を繰り返すことによって、点の一様な分布を行う手法である。

Ostromoukhov の手法では、Polyomino をある平面に敷き詰めることによって、点を一様に分布させる手法である。点群の密度を調節するために Lloyd's relaxation を行っている。Lloyd's relaxation とは、近隣の点に影響を与え合い、点を移動させることで点群の分布を変える手法である。

これらは、点を一様に発生させる手法であるが本手法では異方性を持ち、かつ、高周波成分に偏ったノイズ(ブルーノイズ)に限らない点群を発生させる必要がある。そのため、これらに使われる技術の本手法に適用できるようにした。

3. 毛穴のパターン生成

毛穴で構成される皮革形状のパターンを生成するために、次の手順を行う。

1. 生成のため前準備
2. 複合毛包の中心点の生成
3. 毛穴のマッピング
4. 毛穴の形状定義

本章では、これらの手順について述べる。これらの手順を行うために、必要な入力情報として、複合毛包の中心点の分布を示す複合毛包分布図 A と複合毛包の密度 ρ 、複合毛包内の毛穴の分布 p 、毛穴の形状 s の 4 つを用いる。

3. 1. 前準備

本手法では、複合毛穴の中心点を求めた後、それぞれの複合毛穴に毛穴を配置していく。そのため複合毛穴の位置を相対的に示す情報が必要になる。その情報には、図 2(a)のような近隣の位置関係を示す図を用いる、この図を複合毛穴分布図と呼ぶことにする。図 2(a)の場合、図の中心を任意の点とし、中心点の周りに楕円帯状に近隣点が分布する確率がある。複合毛穴分布図を用いた場合、全体の分布の情報を示す必要がなく、出力サイズに依存することなく複合毛穴分布図を再現するような点群を生成することができる。実際の皮革からこの図を得る方法は松藤らの手法[2007 Matsufuji]を用いる。図 2(a)は実際に図 2(c)から松藤らの手法を用いて、抽出したものである。

複合毛穴図にノイズが多いとき、後述する3. 2. 3項での点の移動処理で不都合が生じるため、図 2(b)のようにガウシアンフィルタをかける。

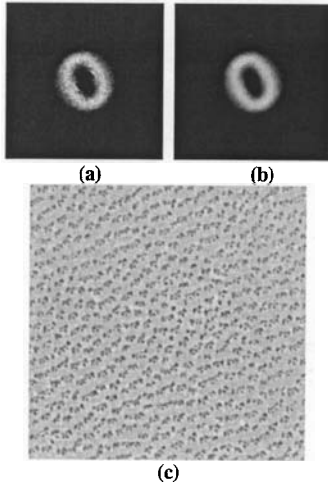


図 2. 複合毛穴分布図。白いほど近隣に複合毛穴が存在する確率が高い。(a):実際の皮革から得た複合毛穴図。(b)ガウシアンフィルタ処理後。(c): (a)の抽出元の皮革

3. 2. 複合毛穴の中心点の生成

本処理は複合毛穴の中心点となる点を分布させる。複合毛穴分布図の確率によって点の位置を推定する方法では、計算時間がかかる。高速化のため

に、大まかな点群を生成させ、入力の複合毛穴分布図 A と近い分布ができるように発生させた点群を移動させていく手法を提案する。

3. 2. 1. 大まかな点群の生成

はじめに、乱数を用いて大まかな点群を 2 次元上に生成する。大まかな点群とは、発生するはずのない点群を排除した点群のことである。

複合毛穴分布図はある点の近隣に発生する点の確率を示している。すなわち、複合毛穴分布図の中心から複合毛穴が存在する領域までは、点群が発生しない領域といえる。これを抽出したものが図 3 に示す排他的な領域である。

指定した領域に対し、密度 ρ から、最終的にできる点群の数 N を算出しておく。

$2N$ 以内の十分な数の点を発生させ、発生させた点に、排他的な領域を設定し、他の点が打たれないようにする。点を発生させているとき、排他的な領域で全領域が埋まった場合、本処理を終了する。

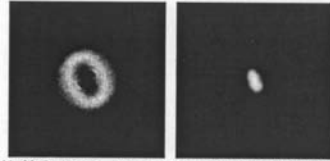


図 3. 排他的な領域。図 2(左の図)から排他的な領域(右の図)を抽出。

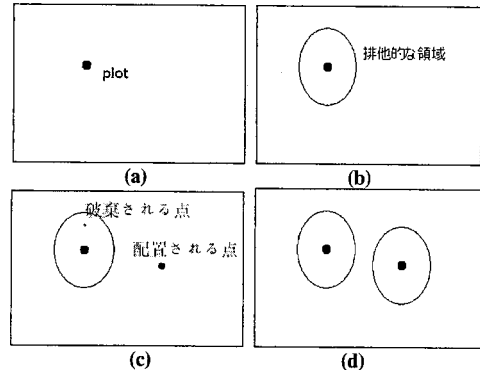


図 4. 大まかな点群の生成プロセス。(a):点をランダムに打つ。(b):排他的な領域を作る。(c):ランダムに点を打つが、排他的な領域には発生させない。(d):打たれた点にも(b)のように排他的な領域を作る

3. 2. 2. 点の順位と点の削除

入力複合毛包分布図Aと現在の点群の複合毛包図を比較して、点を削除するための順位をつける。全ての近隣に対して複合毛包図を照らし合わせて、点に複合毛法分布図の確率を加算していく。全ての点にその処理が終わったとき、ソートし順位を決める。

図5に示すように、順位が最終点群数Nより低いものを削除し、本段階でプロットされている点群の複合毛包分布図Bを入力の複合毛包分布図Aに近づける。

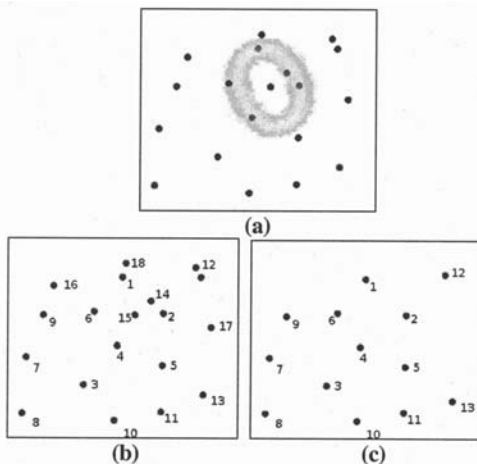


図 5. 最終点群数 N が 13 のとき、順位が 14 以下の点を削除する。(a): 複合毛包分布図の確率を近隣の各点に加算していく。(b): 各点に優先順位をつける。(c): 優先順位 N+1 以下の点を削除する

3. 2. 3. 点の移動

3. 2. 2. 項の処理のみでは、入力複合毛包分布図Aと現段階の複合毛包分布図Bの差が大きいため、点の移動を行い、入力複合毛包分布Aに近づける。そのために、図6のように入力複合毛包分布図AにガウシアンフィルタをかけたA'の勾配ベクトル場Mを求める。このベクトル場Mを用いて点を移動させる。

このとき、ベクトルMのみの移動では、尾根部分に点の分布が集まるため、現段階の複合毛包分布図Bを再計算し、それと入力Aとの差の勾配を計算し、ベクトル場Mに加算する。

ベクトル場Mの各ベクトルを正規化し、方向のみの情報に変換する。現段階の複合毛包図Bと入力Aの差を移動量の係数とし、図6のようにベクトル場に従った移動を全ての点に行う。ある点aが他の点にベクトル場の影響を与えられるのは、他の点がある点aの近隣点であり、かつ、ベクトルの範囲に入っているもののみである。近隣点はドロネー三角化を用いて判定する。

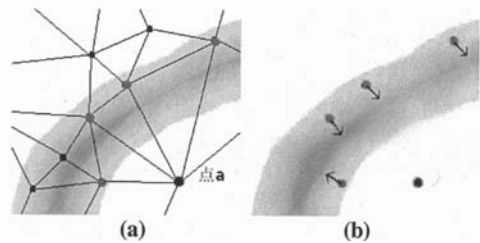


図 6. 点の移動。各点を持つベクトル場Mにしたがって、該当する点を移動させる。(a): ドロネー三角化によって点aの近隣点を探す。(b): ベクトル場によって近隣点を移動させる。

3. 3. 毛穴の配置

生成された複合毛包の中心位置に毛穴を配置する。入力には図7に示す複合毛包内の毛穴の分布pを用いる。

複合毛包の中心点に毛穴の分布pを割りあてる。この分布図pは、毛穴の中心の分布を示している。すなわち、形状を示しているわけではないので、後処理で形状をつける必要がある。



図 7. 複合毛包内の毛穴がある確率を示す図。白い部分ほど確率が高い

3. 4. 毛穴の形状定義

毛穴の分布pに毛穴の形状を当てていく。毛穴が分布されている部分は、毛穴の中心点になる可能性があるため、分布pの値にランダムな要素を含ませ

た関数をマッピングし形状を定義する。

複合毛包内の毛穴の形状を関数として定義する。関数は、中心点からの距離に依存するようなものとし、毛穴の周辺に盛り上がりがあるため式 1 に示す Laplacian of Gaussian を用いる。

$$f(d) = \begin{cases} \text{if}(f_{LoG} > 0) p_{coef} \cdot f_{LoG}(d) \\ \text{else} & m_{coef} \cdot f_{LoG}(d) \end{cases} \dots(1)$$

$$f_{LoG}(d) = -v \cdot \left(1 - \frac{d^2}{\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{d^2}{\sigma^2}\right)$$

d は距離, v は高さ, σ は幅を決める定数, p_{coef} は盛り上がり部分にかかる係数, m_{coef} は毛穴の部分にかかる係数である。

すべての毛穴の分布に v と σ をランダムノイズを係数とした式(1)で示す関数を適用する。

4. 結果

入力の複合毛包分布図Aを図 2(a)とした生成結果を以下に示す。3. 2. 1. 項で紹介した大まかな点群の生成と3. 2. 2. 項の点のランキングと点の削除を行った結果が図 8 である。図 8 の結果に対し、点の移動を行った結果が図 9 である。3. 3. 項の毛穴のマッピングを行い、3. 4. 章の形状定義を行った結果が図 10 になる。また、入力を変えた場合の結果を図 11 に示す。

実行時間に関し、画像サイズ 1000x1000, 最終的な複合毛包の点の数 N が 10,000 個のとき、複合毛包の位置を計算するための時間が約1分、毛穴の形状定義にかかる時間が約 30 秒である。複合毛包位置を計算する時間のほとんどが点の移動に関するもので、この処理の高速化を図ることで時間の短縮が望める。また、形状定義に関しては、関数を用いて形状を定義しているが、本実装では高速化をほどこしていないため、空間分割手法を用いるとさらに高速になると考える。

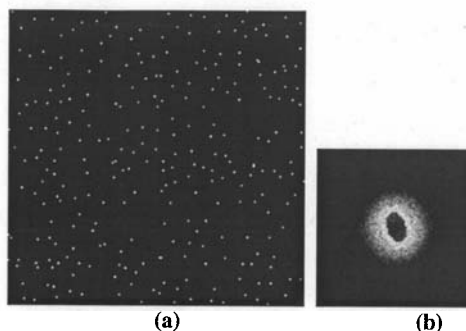


図 8. 3. 2. 1. 章で紹介した大まかな点群の生成と3. 2. 2. 章の点のランキングと点の削除. (a): 点群 (b): (a)の複合毛包分布図

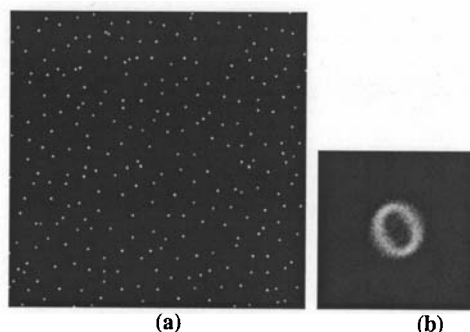


図 9. 図 6 に3. 2. 3. 章の点の移動した結果. (a): 点群 (b): (a)の複合毛包分布図

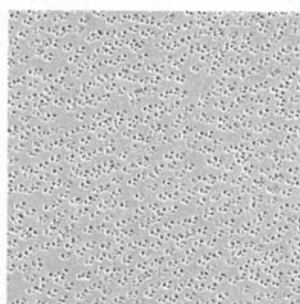


図 10. 点群に3. 3. 章の毛穴のマッピングと3. 4. 章の毛穴の形状定義を行った図

5. まとめ

本手法は、毛穴の集まりである複合毛包の分布と複合毛包内の毛穴の分布の 2 段階の分布処理を行い、最後に毛穴の形状を生成した。

複合毛包の分布では、複合毛包の分布は近隣の複合毛包の存在確率を用いた。はじめに、大まかな点群を生成し、そこから点の削除と点の移動を行い、

複合毛包の中心点のとなる点群を生成した。

毛穴の分布では、生成された複合毛包の中心から、毛穴の存在確率を貼り付け、毛穴の位置を推定した。

毛穴の形状は関数を用いて定義し、毛穴で構成される皮革形状のパターンを生成した。

実際の皮革から求めた複合毛包の存在確率を用いることで、毛穴で構成される皮革形状のリアルなパターンを生成できるようになる。

参考文献

[1991 Ishi] 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.

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

[2002 Bando] 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

[2003 Itoh] 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

[2006 Miyata] K. Miyata, Y. Sakaguchi, K. Imao, Y. Hatada, A. Fujita, R. Suzuki, "Leather Texture Generation", Siggraph 2006 research poster, 2006

[2007 Sakurai] K. Sakurai, K. Miyata, N. Kawai, K. Matsufuji, "Leather Texture Generation Considering Sulci Flow", Siggraph 2007 research poster, 2007

[2006 Daniel] Daniel Dnbar and Greg Humphrys, "A Spatial Data Structure for Fast Poisson-Disk Sample

Generation", Proceedings of SIGGRAPH 2006, 2006

[2007 Victor] Victor Ostromoukhov, "Sampling with Polyominoes", Proceedings of SIGGRAPH 2007, 2007

[2007 Matsufuji] 松藤, 河合, 櫻井, 宮田, "毛穴で構成される皮革形状の特徴抽出手法の一提案", 情報処理学会研究会報告 2007-CG-129, 18, to appear, 2007

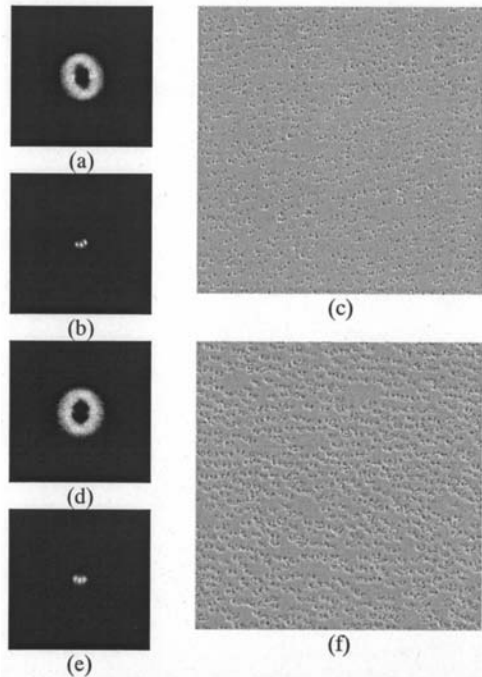


図 11. 入力を変更したときの結果(a): 複合毛包分布図 1 (b): 毛穴分布図 1 (c): (a)と(b)を入力にしたときの結果 (d): 複合毛包分布図 2 (e): 毛穴分布図 2 (f): (d)と(e)を入力にしたときの結果