

レイヤ構造を持つ画像片の操作による髪型編集システム

渡 邊 大 貴^{†1} 金 森 由 博^{†1}
三 谷 純^{†1} 福 井 幸 男^{†1}

与えられた顔画像に似合うよう、ユーザが選んだ髪型画像を細かく編集・合成できる対話的なシステムを提案する。提案システムでは、髪束を表現した画像片をレイヤ状に重ねて髪型を表現する。これらの画像片に対して形状変形を適用することで、髪の伸縮や、髪の流れの変更（櫛操作）など、髪型の微調整を可能とする。様々な顔画像および髪型画像を用いた適用例により、提案システムの有効性を示す。

An image-based hair styling system using layered texture pieces

HIROKI WATANABE,^{†1} YOSHIHIRO KANAMORI,^{†1}
JUN MITANI^{†1} and YUKIO FUKUI^{†1}

We present an interactive system that allows the user to finely edit a hairstyle image so that the image can be naturally synthesized onto a given facial image. In our system, a hairstyle is composed by stacking texture pieces (textured triangle strips) that represent hair strands. By warping these pieces, the user can perform typical manipulations for hairstyles, such as lengthening/shortening and combing (modification of the flows of hair strands). We demonstrate the effectiveness of our system through experimental results with various hairstyle images and facial images.

1. はじめに

今日、多くの人がファッションに関心を持っている。とりわけ髪型は各個人の印象を大きく左右するため、個性を表現する上で重要な意味を持つ。そのため、多くの人が自己表現や変身願望を満たす手段として髪型を変える。

我々が髪型を変更しようとするとき、ヘアカタログなどのモデルを参考とすることが多い。しかし、モデルの顔が自身の顔と異なっているために具体的なイメージが湧きにくい。そのため、髪型を変更するシミュレーションを行う方法として、自身の顔画像に対してモデルの髪型を合成するという方法は有効である。しかし、それだけでは十分ではなく、美容院で顧客が美容師に注文するような「(写真よりも)襟足を長くしたい」「前髪を揃えたい」といった部分的な変更を加えたい場合がある。本稿では、髪型を顔画像に合成し、ユーザによる対話的な操作により簡易に髪型を調整することのできるシステムを提案する。

2. 関連研究

髪の CG 表現は、3 次元キャラクターの本物らしさを大きく左右するため、CG 分野においてその初期から盛んに研究されている（詳しくは調査論文¹⁾を参照されたい）。

3 次元で表現された髪型の編集手法は多数提案されている。ユーザが入力したスケッチに基づいて髪型を作成・編集する手法²⁾³⁾、髪束を表現するポリゴンで髪型の概形を作成できる手法⁴⁾などがある。また、実世界に則したユーザ操作によって三次元 CG 上で髪をスタイリングする研究⁵⁾もある。さらに、実世界の髪型を計測して髪型形状を得る手法⁶⁾⁷⁾も提案されている。これら 3 次元の髪型を対象とした手法は、デザインできる髪型形状の自由度は高い。しかし、髪型が特定の人物に似合うかどうかを判断するには顔モデルまで含めた頭部の写実的表現が必要であるが、その実現は容易ではない。ましてや本研究のように顔画像と髪型画像をそれぞれ 1 枚ずつ入力として実現するのは困難である。

一方、2 次元の画像を対象として髪型を合成する手法も提案されている。宮田の手法⁸⁾では、髪型画像をワーピングによって与えられた顔画像と合成する。髪型画像と顔画像の輪郭線に予め対応関係を設定しておき、それらを一致させるように髪型画像を変形する。Chen らの手法⁹⁾は、髪型の画像を陰影の情報と髪のテクスチャに分離し、テクスチャから髪の流れのベクトル場を生成して、元の髪型に似た髪型画像を生成する。これらの手法は、髪型の概形を微調整することはできるが、髪の毛の房を表現できない。よって、本研究が実現しているような、選択した部分の髪の毛の伸縮や櫛操作などの細かな編集は実現できない。

^{†1} 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, University of Tsukuba

同じく画像ベースの商用サービスとして、VIRTUAL PREVIEW¹⁰⁾ が挙げられる。まず、アップロードされた顔画像に予め用意された髪型を合成する。この顔画像をモーションポートレート技術により三次元 CG に変換し、表情を持ったアニメーションとして見ることができる。この手法では髪型全体のボリュームや位置を調節できるものの、髪型の細かな調整は行えない。これに似たアプリケーション¹¹⁾ や、携帯電話向けのサービス¹²⁾ も存在するが、いずれも編集操作は行えない。

我々が以前行った研究¹³⁾ では、画像片を操作することにより従来のシステムでは実現していなかった髪型の部分的な編集を可能にした。本稿ではこれに髪の流れを変化させる機能を持つ櫛ツールの追加、髪の伸縮方法の改善、顔認識を用いた髪型と顔画像との位置と縮尺合わせを新たに追加し、操作性を向上させた。

3. 提案システム

提案システムでの入力髪型と顔の二次元カラー画像 1 枚ずつである。顔画像と髪型画像は同一人物のもので別人のものでかまわない。髪型画像はフォトレタッチソフトなどにより髪型以外の部分を消去した写真を用いる。部分的な編集を可能にするため、まず髪型画像を帯状の細かな画像片（本稿ではこれをテクスチャピースと呼ぶ）に分割する。そして、それらをレイヤ状に重ねることで髪型モデルを作成する。画像片に分割することで、より局所的な変化をつけやすくする。いくつか髪型モデルを作成してデータベース化しておくことで、ユーザは目標とする髪型に近いものを選ぶことができる。その後入力顔画像と合成され、その後ユーザの操作により目標の髪型に近付けてゆく。システムの概観図は図 1 のようになる。

3.1 データ構造

提案システムでは、髪型を表現するのに重なりのある画像片を組み合わせた髪型モデルを用いる。画像片は帯状のポリゴンに髪型画像のテクスチャを貼ることで描画する。以降、これをテクスチャピースと呼ぶ。テクスチャピースは図 2 のように形を決める中心線の座標 v_i と、テクスチャを貼る領域の頂点 l_i, r_i 、これに対応する元の画像領域のテクスチャ座標 s_i, t_i 、幅 w の情報を持つ。ここで $i = 0, 1, 2, \dots, N_v - 1$ であり N_v は頂点の数である。これを複数枚重ねることで髪型モデルを作成する。テクスチャピースに変形が加えられると、テクスチャを貼る領域 l_i, r_i の頂点は中心線に垂直な方向に $\pm w$ だけ平行移動した位置とし

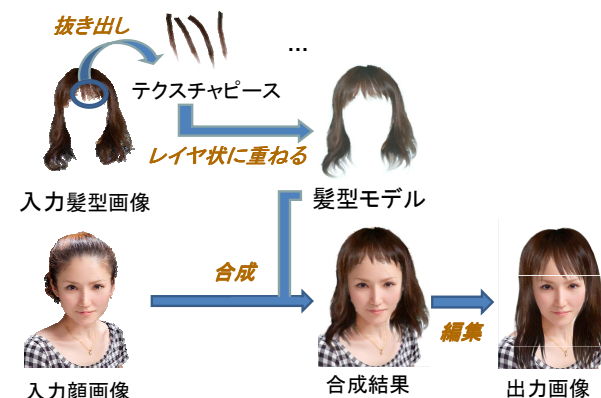


図 1 システムの概観図^{*1}。入力髪型画像はテクスチャピースと呼ばれる画像片に分解される。その後それらを組み合わせた髪型モデルが顔画像と合成される。ユーザは合成された髪型モデルに対し、櫛ツールや伸縮ツールにより編集を行い、目標となる髪型に近付けていく

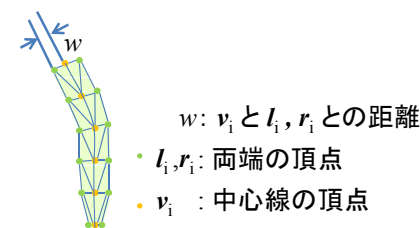


図 2 テクスチャピースの構造。

*1 画像出典: <http://fotokawa.jp>



図 3 テクスチャピース先端の処理. (a) の赤い楕円で囲まれた部分には階段状の不具合が見られるが (b) では先端処理を施したことによって解消されている.

て再計算される. ピースを重ねた際に顔画像および他のピースと馴染ませるため, 中心線のアルファ値を 1 としてテクスチャピース端に向かってアルファ値を減衰させている. テクスチャピース端のアルファ値 α はデフォルトでは 0.8 に設定してある. また, 幅が均一な帯状のピースを重ねることで図 3(a) のように毛先が階段状になってしまい, 違和感が生じる場合がある. これを解決するため, 頂点数に対して末端から割合 λ の位置にある点から, アルファ値と幅が最終的に 0 になるように線形に減衰させている. λ は $1/4$ とした.

3.1.1 テクスチャピースの抜き出し

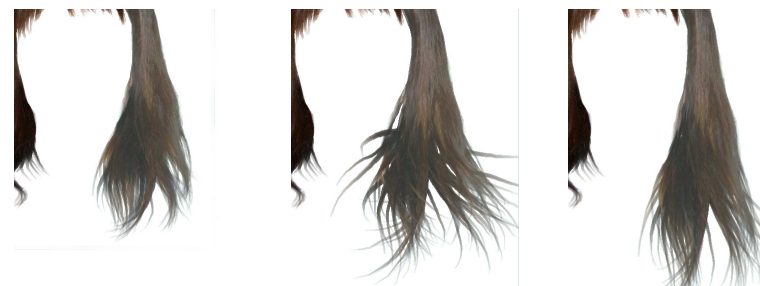
現行のシステムではテクスチャピースの抜き出しは手動で行っており, 開発者が作業した場合, 15 分程度の時間を要した. まず, ピースの幅を指定し, 髪型画像上でマウスストロークを入力する. するとストロークの軌跡を中心線とするテクスチャピースが生成される. 中心線は, 中心線上の前後の頂点座標の平均を取ることで平滑化される. テクスチャピースは抜き出した順に自動的に重ねられる.

3.2 伸縮ツール

ユーザは対象となるテクスチャピースを選択し, マウス操作によりテクスチャピースを伸縮させることができる. 選択はマウスで行う. 中心線の頂点間を横切るようにマウスストロークを入力するとそのテクスチャピースが選択され, 色が変わる. 伸縮倍率は, ピースの根元の点 v_0 からマウスでクリックした点を結ぶ線分およびドラッグした位置とをむすぶ線分との長さの比とし, g とおく. 伸縮を計算するために, 選択されたテクスチャピース 1 本ずつに二次曲線を当てはめ, その二次曲線に沿ってテクスチャピースを伸縮させる. 実数値のパラメータ γ を用いて, 二次曲線上の点の x 座標, y 座標は次式で表される.

$$x(\gamma) = a_2\gamma^2 + a_1\gamma + a_0 \quad (1)$$

$$y(\gamma) = b_2\gamma^2 + b_1\gamma + b_0 \quad (2)$$



(a) 入力画像 (b) 伸びる方向が不揃い (c) 改善後

図 4 二次曲線を用いた髪の伸縮. (a) の髪型を近似曲線でそのまま伸ばすと (b) のようにピースごとに伸びる方向が異なるため髪がばらけてしまう. これに対し (c) はマウスストロークの方向にまとめて伸びるよう改善した.

ここで $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ は係数であり, 最小二乗法によって求める. テクスチャピースごとに近似曲線を当てはめると, 各テクスチャピースの伸縮方向は図 4(b) のようになってしまう. そこで, テクスチャピースがマウスをドラッグした方向に伸縮するように, 中心線の先端からマウスをドラッグした方向にもうひとつ点 v_{N_v} を追加し, 曲線を当てはめる. v_{N_v} は m をドラッグした方向を表す単位ベクトルとすると

$$v_{N_v} = v_{N_v-1} + c m \quad (3)$$

ここで c は重みである. この重みは, 中心線の頂点数に応じて変える必要がある; 頂点数が少ない場合は, v_{N_v} を先端に近い場所に追加してもよいが, 頂点数が多い場合は, 先端から離れた地点に追加しないと, ドラッグした方向が反映されない. 我々の実装では $c = N_v$ とした. これにより図 4(c) のように伸長方向をある程度揃えることができる. また, これにより伸長方向をマウスで操作することができる. 伸縮後の座標 $v'_i = (x'_i, y'_i)$ は式 (4), (5) のように決まる.

$$x'_i = x(gi) + g_d(x(i) - x_i) \quad (4)$$

$$y'_i = y(gi) + g_d(y(i) - y_i) \quad (5)$$

ここで g_d は, 変形前の頂点 v_i とそれに対応する二次曲線上の点 $(x(i), y(i))$ との差分をどれくらい考慮するかを制御する係数である. 伸縮倍率 $g > 1$ のとき, すなわちテクスチャピースを伸ばす場合, 差分を大きくすると中心線が近似曲線から離れてしまい, 滑らかでなくなるので, $g_d = 1$ とする. 一方, $g \leq 1$ すなわち縮める場合は, 中心線を徐々に近似曲線に近づけるため, $g_d = g$ とする. 適用例は図 5 である. 入力画像 (a) に対して, 髪を伸



(a) 変形前^{*2} (b) 髪を伸ばした場合 (c) 髪を縮めた場合

図 5 伸縮ツールの適用例.

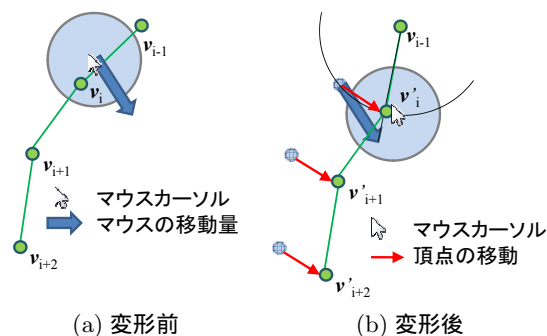


図 6 櫛ツールのイメージ. ユーザがマウス位置を中心とする円形領域を (a) のように操作すると, 頂点は (b) のように移動する.

ばしたものが (b), 縮めたものが (c) である.

3.3 櫛 ツール

櫛ツールを用いると, ユーザが入力したマウスの動きに合わせてテクスチャピースが変形する. 変形のイメージを図 6 に示す. 図 7 のように変形させたいピースを, マウス位置を

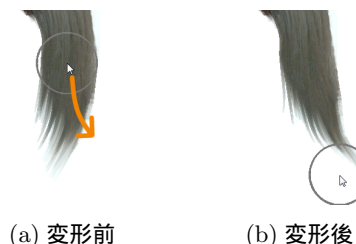


図 7 櫛ツールの操作. 矢印はマウスのドラッグの方向を表す.

中心とする円形領域で選択し, 梳かすようにドラッグすることで変形を行う. 選択計算の高速化のため, テクスチャピースの中心線を囲む長方形領域 (軸並行なバウンディングボックス) の情報を持たせておき, まず粗い判定としてバウンディングボックスと選択円領域の交差判定を行う. 判定にヒットしたテクスチャピースの頂点とマウスの位置との距離が円領域の半径より小さい場合に, マウスの動きに従って頂点を移動させる. 式 (6) のように円形領域内に存在するピースの中心線の頂点 v_i に関して, $(v_i - v_{i-1})$ にマウスの移動ベクトル m を足し合わせ, v_i と v_{i-1} との距離が変わらないよう正規化している.

$$v'_i = \frac{(v_i - v_{i-1}) + m}{|(v_i - v_{i-1}) + m|} |v_i - v_{i-1}| + v_{i-1} \quad (6)$$

操作終了後, 手ぶれのためにマウスストロークがギザギザした折れ線になるのを緩和するため, v_i の前後の頂点の平均を取ることで平滑化を行っている. 適用例を図 8 に示す.

4. 髪型モデルのフィッティング

髪型モデルと顔画像との位置や大きさを合わせるため, 顔検出を用いている. 検出には OpenCV で実装されている顔検出プログラムを用いた. 髪型モデルは図 9 のように顔の位置に楕円状の点群の座標の情報 (参照楕円) を持っている. この参照楕円の配置は予め手動で行う. システムに顔画像が読み込まれる際に, 顔検出により顔画像にも参照楕円が自動的に配置される. 髪型モデルが持つ参照楕円と顔画像から計算された参照楕円を合わせるように髪型モデルが配置される. また髪型モデルを平行移動, 回転させたり, ユーザがマウスで参照楕円の点群の位置を操作することで髪型を歪めたりすることで, 細かな調整を行える.

*2 画像出典: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HelenLuzRP.jpg>

*3 画像出典: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Singa-retouched-3.jpg>

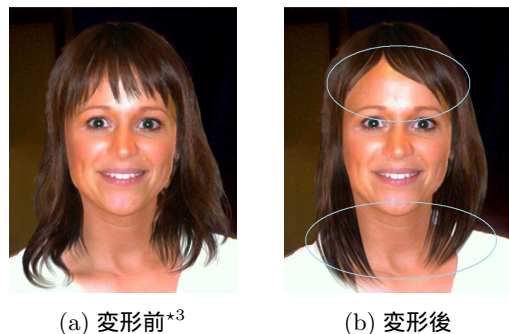


図 8 櫛ツールの適用例. (b) では (a) に対し前髪を分け、毛先を揃えるといった操作を行った.

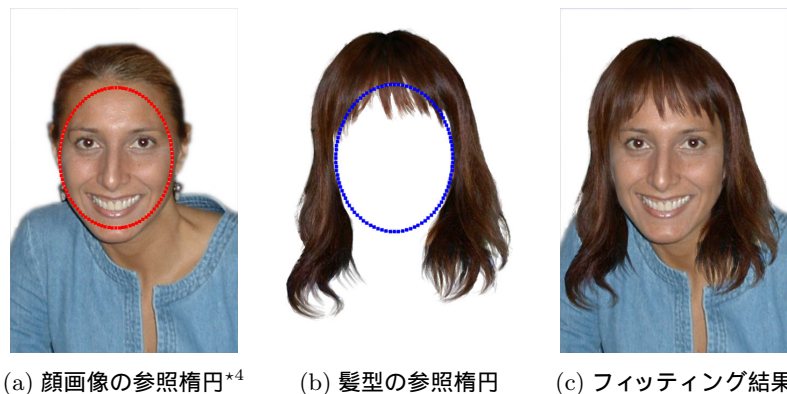


図 9 顔画像と髪型のフィッティング. (a) の赤い楕円に (b) の青い楕円を合わせるように変形.

歪める操作は宮田の手法⁸⁾と同様な処理を行っている.

5. 結 果

提案システムの実装には C++ 言語, ライブラリとして OpenGL, GLUT, GLUI, OpenCV, DevIL を用いた. 実行環境は Intel Core 2 4300 1.80GHz, GPU として NVIDIA Quadro



図 10 髪型の当てはめ. 入力画像 (a) に対して様々な髪型を当てはめた. 髪型を読み込むと顔認識を用いて自動で当てはめが行われる.

FX 570, メモリ 2GByte を搭載した PC である. 髪型を読み込むとシステムが自動で顔との当てはめを行うため, ユーザは図 10 のように様々な髪型を短時間で試することができる. 画像サイズは顔画像が 752×1024 , 髪型画像はそれぞれ 497×711 , 480×640 , 550×640 である. また, 提案システムによる編集例を図 11, 12 に示す. 編集には各 5 分程度の時間を要する. 図 11 の入力顔画像サイズは 1065×1600 , 髪型画像サイズは 500×500 , テクスチャピースの数は 200 である. 図 11(a) は入力顔画像に対し髪型をあてはめたものである. 櫛ツールで毛先を整え, 前髪を分ける操作を行うと図 11(b) のようになる. 図 11(c) では櫛ツールで前髪をそろえ, 髪の半ばの部分を広げるように操作することで左右のボリュームを上げた. 図 12 では入力顔画像サイズは 480×680 , 髪型画像サイズは 600×600 , テクスチャピースの数は 150 である. 図 12(a) は入力顔画像に対し髪型をあてはめたものである. 伸縮ツールで髪を短くしたものが図 12(b), 伸縮ツールで髪を伸ばし, 櫛ツールで髪の流れを変更したものが図 12(c) である.

6. 結論と今後の課題

本稿では画像を入力とした髪型編集システムの提案を行った. 髪型画像を画像片に分解し, それらを変形することにより髪型の編集を行うことで, 髪の部分的な調整が可能になっ

*4 画像出典:<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HelenLuzRP.jpg>

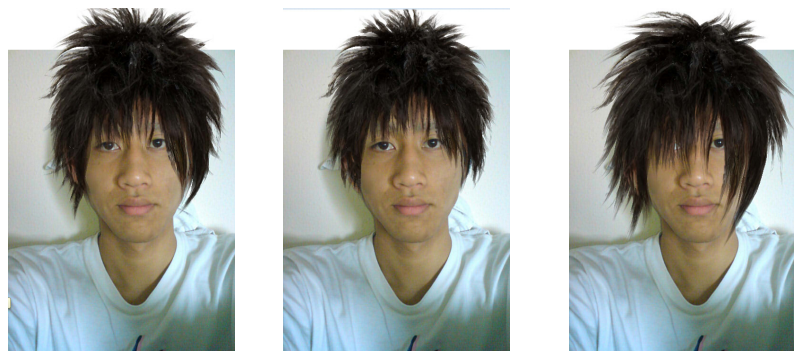
*5 画像出典:<http://www.flickr.com/photos/violentz/3199292482/>, by Violentz

*6 画像出典:<http://www.ashinari.com/2010/10/29-037042.php?category=317>



(a) フィッティング結果 (b) 毛先を調整 (c) サイドをボリュームアップ

図 11 女性の顔への適用例^{*6}.



(a) フィッティング結果 (b) 髪を短くしたもの (c) 髪の流れを変えたもの

図 12 男性の顔への適用例.

た．また，提案システムによる髪型モデルに伸縮や櫛操作による形状変形を加えた適用例を示すことで，髪の部分的な編集が行えることを示した．今後の課題として，伸縮の際の髪のハイライトや陰影が引き延ばされてしまう問題や，髪型画像と顔画像との色差を解決する必要がある．また，客観的な評価を得るため，ユーザの希望する編集が行えるかどうかユーザテストを行いたい．

参 考 文 献

- 1) Ward, K., Bertails, F., Kim, T.Y., Marschner, S.R., Cani, M.P. and Lin, M.: A survey on hair modeling: Styling, simulation, and rendering, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.17, No.2, pp.213–234 (2007).
- 2) Fu, H., Wei, Y., Tai, C. and Quan, L.: Sketching hairstyles, *Proceedings of the 4th Eurographics workshop on Sketch-based interfaces and modeling*, ACM, pp.31–36 (2007).
- 3) Wither, J., Bertails, F. and Cani, M.: Realistic hair from a sketch, *Shape modeling international*, Citeseer (2007).
- 4) Yuksel, C., Schaefer, S. and Keyser, J.: Hair meshes, *ACM Trans. Graph.*, Vol.28, pp.166:1–166:7 (2009).
- 5) Ward, K., Galoppo, N. and Lin, M.: Interactive Virtual Hair Salon, *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, Vol.16, pp.237–251 (2007).
- 6) Paris, S., Chang, W., Kozhushnyan, O.I., Jarosz, W., Matusik, W., Zwicker, M. and Durand, F.: Hair photobooth: geometric and photometric acquisition of real hairstyles, *ACM Trans. Graph.*, Vol.27, pp.30:1–30:9 (2008).
- 7) Jakob, W., Moon, J.T. and Marschner, S.: Capturing hair assemblies fiber by fiber, *ACM Trans. Graph.*, Vol.28, No.5, pp.1–9 (2009).
- 8) 宮田一乗：画像のワーピング処理を用いたヘアスタイルの合成法，*画像電子学会誌*，Vol.25, No.5, pp.473–485 (1996).
- 9) Chen, H. and Zhu, S.-C.: A generative sketch model for human hair analysis and synthesis, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, Vol.28, No.7, pp.1025–1040 (2006).
- 10) ヘンケルジャパン株式会社：Virtual Preview, <https://virtual-preview.com/>.
- 11) 株式会社インフィニシス：Change My image, <http://www.infinisys.co.jp/product/cmimage3/index.shtml>.
- 12) ソネットエンタテインメント株式会社：ヘアスタ, <http://hairst.jp/>.
- 13) 渡邊大貴，金森由博，三谷 純，福井幸男：インタラクティブな髪型画像編集システムの開発，第 9 回 NICOGRAPH 春季大会 (2010).