研究速報

コンピュータによる写真からの斜め似顔絵生成法の検討

Computer-Generated Oblique Caricatures from Photographs

米山彩美^{†*}, 高橋桂太[†], 正会員 金子正秀[†]Ayami Yoneyama^{†*}, Keita Takahashi[†] and Masahide Kaneko[†]

Abstract A method for generating oblique caricatures by computers is presented. The inputs are facial images captured from both frontal and several oblique directions. The proposed method can generate caricatures not only for the directions where the input images were provided but also for arbitrary directions by using the results of the principle component analysis of the data on facial features.

キーワード: コンピュータ似顔絵, 主成分分析, 固有空間, 斜め顔

1. ま え が き

コンピュータによる似顔絵生成は、人が無意識に捉えている顔の特徴や印象を定量的に取り扱う手段となるだけでなく、ネットワークエージェントやエンターテインメント分野での応用が期待できる技術であり、多くの研究者の関心を集めている^{1)~5)}。筆者らのグループでも、多数の顔写真の主成分分析（固有空間への展開）に基づく似顔絵生成技術の研究開発を進めてきた⁶⁾⁷⁾。しかし、これまでの筆者らの検討は、主に正面顔を対象としたものであった。

一方で、画家が描く似顔絵は、正面方向に限らず、横方向や斜め方向など様々な角度から見たものも多く、顔の角度は似顔絵表現の重要な要素のひとつと考えられる⁸⁾。コンピュータ似顔絵の分野でも、横顔を対象とした研究が報告されている²⁾⁹⁾。本研究速報では、筆者らのグループの似顔絵生成手法⁶⁾⁷⁾を斜め方向から見た顔に拡張する方法について報告する。本研究では、正面顔写真だけではなく、斜め方向の複数の角度（本研究では正面を含めて4方向）から撮影した顔写真も入力として用いる。提案手法では、写真が撮影された角度において、個人の特徴を表現した似顔絵を生成できるだけではなく、角度方向の変化に対応する固有空間内の主成分の組合せを求めることで、任意の角度から見た似顔絵も生成できる。

似顔絵に限らず、対象を任意の方向から見た画像を生成する最も自然なアプローチは、被写体の3次元形状モデル

を構築し、これを3次元グラフィックスとして描画することである⁴⁾。筆者らのグループでも、ステレオカメラを用いて顔の3次元形状を計測しモデル化する検討も進めているが¹⁰⁾、平面的な顔画像を扱う場合⁶⁾⁷⁾と比較すると、撮影装置および処理の双方が複雑かつ高コストになる。一方、本研究速報における提案手法は、明示的な3次元形状モデルを必要とせず、平面的な顔画像処理⁶⁾⁷⁾の拡張として実現できる。また、文献6)7)の枠組みには、個人の顔特徴の分析・強調だけではなく、顔印象との対応付けや類似顔検索などの機能も含まれている¹¹⁾が、共通の技術基盤の上に構築された本提案手法は、これらの機能を継承することができる。

2. 従来の似顔絵生成手法の概要とその限界

筆者らの従来の似顔絵生成手法⁶⁾⁷⁾の概要、およびそれを斜め似顔絵に適用した場合の限界を述べる。

入力として様々な人の顔写真を用意する。顔部分をそれぞれ、図1(a)に示すような3次元ワイヤフレームモデルに対応付ける処理を行う。この処理はフィッティングと呼ばれる。フィッティング処理には、情報処理振興事業協会（IPA、現在の独立行政法人情報処理推進機構）の事業により開発され公開されたソフトウェア*を用いる。このソフトウェアでは、画面上に3次元ワイヤフレームモデルと顔写真が重畳された状態で表示され、操作者が手作業（マウス操作）で3次元ワイヤフレームモデルの頂点を移動させて顔写真上の対応するべき点に合わせる処理（位置合わせ処理）を行う。どの頂点を顔写真上のどの点に合わせるべきかについては、添付のマニュアルに詳細な指示がある。この作業には、顔写真1枚あたり約15分を要するが、操作者

2012年6月28日受付, 2012年8月24日再受付, 2012年9月10日採録

[†]電気通信大学 電気通信学部電子工学科/大学院情報理工学研究所知能機械工学専攻 金子・高橋研究室

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1, TEL 042-443-5216)

* 株式会社リンクス

[†] The University of Electro-Communications

(1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo 182-8585, Japan)

* LinX Corporation

* <http://nae-lab.org/project/face/ipa/>

図 1 (a) 3次元ワイヤフレームモデル
(b) 顔写真とのフィッティング
(a) 3D wireframe model and (b) fitting result with a facial photograph.

が目視で確認しながら作業することで、十分な精度のフィッティングが可能である。図 1(b) にフィッティング処理の結果の一例を示す。この処理により、ワイヤフレームモデル上に定義した特徴点（眉 10 点×2、目 12 点×2、鼻 30 点、口 44 点、顔輪郭 38 点の合計 156 点）が、顔写真上の座標と対応付けられる。これら特徴点座標の組（顔特徴データ）によって、顔形状の数値表現を得る。

文献 6)7) の中核をなすのは、顔特徴データへの数値処理である。例えば、すべての人の顔特徴データを平均すれば平均顔が得られる。また、個人の顔特徴データと平均顔を比較すると、差が大きな部分に個人の特徴が現れていると考えられるため、この差がさらに大きくなるように顔特徴データを操作することで、個人の特徴を強調できる¹⁾。さらに、顔特徴データに対して、目、口等のパーツごとに主成分分析を施すことにより、個人差を顕著に表現する軸を抽出したり、「目の大きさ」等の直感的な尺度に対応する主成分の組み合わせを求められる。ほかにも、類似する顔を検索したり、「やさしい」等の主観的な印象と結びつく顔特徴データの成分を求めて強調する等の応用も可能である。

似顔絵の描画は、処理された顔特徴データを 3 次元座標で表現し、単純化されたテクスチャを貼付けることによって行う。例として、図 2(a) の顔写真から生成された似顔絵を図 2(b) に示す。形状に個人の特徴が反映され、「個人に似ている」似顔絵が生成できている。なお、耳介部は顔特徴データには含まれていないが、見た目を自然にするため形式的にデフォルトの形状を与えて描画している*。

筆者らの用いる 3 次元ワイヤフレームモデルは 3 次元座標で表現されている。しかし、フィッティング処理では正面顔写真のみが与えられ、これに対して 2 次元的な位置合わせのみを行う（奥行き座標は未知のためデフォルト値に固定されている）ため、個人の 3 次元形状を正確には反映できない。したがって、生成される似顔絵についても、正面

図 2 従来手法による似顔絵描画
Caricatures by the conventional method.

図 3 入力写真の例
Example of input photographs.

から見る限りは問題ないが、別角度から見ると幾何学的な誤差が露見する。例として図 2 では、正面顔写真 (a) に対してフィッティングされた顔特徴データを、水平に 30° 回転した方向から似顔絵 (d) として描画した結果を示す。30° 方向から実際に撮影された顔写真 (c) と比較すると、輪郭形状等に大きな相違が見られる。これは、正面顔写真に対してのみワイヤフレームモデルをフィッティングしている以上避けられない問題である。本研究では、斜め方向からの顔写真も入力とすることでその解決を図った。

3. 斜め方向からの顔写真入力を用いた各角度における似顔絵生成

本研究では、斜め方向の顔を扱うため、顔の正面方向を基準に、0°、10°、20°、30° の四つの角度から撮影した顔写真をデータとして用いることにした。例を図 3 に示す。男性 15 人、女性 15 人の合計 30 名について、上記の 4 つの角度方向から、合計で 120 枚の顔写真を取得した。解像度は 520×480 画素とした。

次に、2 章で述べたソフトウェアを用いて、これらの顔写真をそれぞれ 3 次元ワイヤフレームモデルに対してフィッティングした。このとき、ワイヤフレームモデルは、顔写真の撮影された角度に対応して回転させて用いた。フィッティング処理は、従来と同様、2 次元の位置合わせとして行ったが、ワイヤフレームモデルを顔写真に対応する角度へとあらかじめ回転してあるので、その角度から見る限り

* 本研究速報のいくつかの図で耳介部が切れて表示されているのは、描画領域をはみ出しているためであり、本質的な形状変化ではない。

図 4 各角度における似顔絵描画：(a,d) 入力写真，(b,e) 特徴強調なし，(c,f) 特徴強調あり

Caricatures at each angle: (a,d) input photographs, (b,e) with original data, and (c,f) with feature-emphasized data

においては正しい位置合わせとなる。平均顔の計算および主成分分析は、角度ごとに独立に、それぞれ 30 枚の顔写真に対して行った。主成分分析では、左目、右目、左眉、右眉、鼻、口、輪郭の各パーツおよび配置（各パーツの基準点の集合）の 8 グループを考え、それぞれのグループについて主成分分析を行い、合計 8 個の固有空間を生成した。以上に述べた処理は、それぞれの角度の顔写真の集合に対して、文献 6)7) の枠組みを直接当てはめたものとなっている**。

処理結果の例を、対応する顔写真とともに図 4 に示す。上段は 10°、下段は 30° である。(b)、(e) は取得された顔特徴データをそのまま用いて描画したもので、個人の顔の幾何形状が正しく反映されている。(c)、(f) は、各角度の固有空間において、その角度の平均顔との差分をさらに強調する（固有空間では、その角度の平均顔が原点となるので、個人の顔特徴データを固有空間に展開し、絶対値が大きな成分の係数をさらに大きくする）ことにより、個人の特徴を強調した似顔絵である。提案手法では各角度でフィッティングを行うため、図 2(d) のような形状の誤差は発生せず、望ましい結果が得られている。

4. 主成分分析に基づく任意方向からの似顔絵の生成

本研究で用いた顔写真は、0°、10°、20°、30° の四角度方向のみである。本章では、これらから、0 ~ 30° の任意の角度の似顔絵を生成する手法を述べる。

4.1 角度変化に対応する成分の抽出

120 枚（30 人 × 4 角度）の顔写真すべてを用いて主成分分析を行い、平均顔（図 5。以後、全角度全人物平均顔）および八つのグループに対する固有空間を作成した。全角度

図 5 全角度全人物平均顔
Average face over all people and all directions.

図 6 各角度の平均顔
Average face for each direction.

図 7 唇パーツの角度に対応する主成分得点の変化
Variations of principle component scores of lips corresponding to variations in the angle.

全人物平均顔は、およそ 15° の方向に対応している。また、固有空間は、全角度全人物平均顔を原点とし、個人差の成分と角度変化の成分の両方を含んでいる。この固有空間の中に、各角度における 30 枚の平均顔（図 6）に対応する 4 点をプロットする。これら 4 点を滑らかにつないだ軌跡は、角度変化に対応する顔特徴データの平均的な変化を表している。したがって、その軌跡をたどるように顔特徴データを操作すれば、任意の角度の平均顔が生成できる。

具体的な処理としては、各部位の固有空間のうち上位 5 つの主成分について、各角度の平均顔に対応する 4 点の主成分得点をプロットし、それら 4 点に回帰直線を当てはめることで、角度変化に対応するその主成分の得点の変動をパラメトリックに記述することにした。図 7 に、唇の固有空間における第 1~5 主成分のデータを示す。グラフの縦軸は主成分得点の値、横軸は角度である。各プロットは、0°、10°、20°、30° の四つの角度それぞれの平均顔の主成分得点の値を表している。各主成分に対する回帰直線は、最小二乗法によって当てはめた。

この処理を、八つのグループすべてに対して行くと、合計で 40（8 グループ × 5 主成分）の回帰直線が得られる。回帰直線に任意の角度を入力することにより、対応する各主

** 斜め方向の顔を扱う際には、ワイヤフレームモデルをフィッティングした後のデータの正規化処理、似顔絵描画における頂点数など、正面顔の場合に対して若干の修正を加えている。

図 8 任意の角度から見た平均顔の生成
Average face viewed from arbitrary directions.

図 9 任意の角度から見た個人の似顔絵 (5 度刻み)
Individual facial caricatures viewed from arbitrary directions (every 5 degrees).

成分の得点を計算し、図 8 に例を示すように、その角度に対応する平均顔を出力することができる。連続的な角度変化を示すビデオを添付するので、併せて参照されたい¹³⁾。

4.2 個人の顔への適用

前節で各角度の平均顔に対して導出した角度変化に対応する成分を、個人の顔に対して適用する二つの手法を述べる。

(1) 手法 I：個人の平均顔を用いる手法

本研究では、各個人について、0°, 10°, 20°, 30° の四つの角度で顔写真を取得している。角度をまたぐこれらの四つの顔写真の平均を取ると、およそ 15° に対応した個人の平均顔が得られる。個人の平均顔を固有空間に展開し、前節で導出した角度変化成分を加算した上で再構成することにより、任意の角度からの個人の似顔絵を生成できる。図 9 中段に結果の例を示す。この手法では、角度変化に対して一貫性をもって滑らかに変化するような個人顔の似顔絵生成が実現できた（添付ビデオ¹³⁾ 参照）。ただし、この手法では、個人の顔特徴データは四つの角度に関するデータの平均（個人の平均顔）という形でのみ用いられ、平均を構成する元の四つの角度におけるデータがどんな値であったかは考慮されない。したがって、データを取得している角度 0°, 10°, 20°, 30° において、生成される顔特徴データが元のデータにちょうど一致することは保証できない（一般には一致しない）。

(2) 手法 II：近接する角度から補間する手法

例として、2° の方向からの個人の似顔絵を生成する場合

を考える。近接する角度で実際に顔写真が存在するのは、0° と 10° である。まず、0° の個人の顔特徴データを固有空間に展開し、前節の結果に基づいて 2° 分だけ主成分を操作した上で処理結果を再構成することにより、2° の個人の似顔絵を生成する。同様に 10° の顔特徴データからも -8° 分の主成分操作を行い 2° の似顔絵を生成する。それぞれから生成した 2° の似顔絵を、角度の差の比率に応じて 8:2 で重み付け平均することで、最終的な似顔絵を生成する。こうすることで、顔写真が取得できている角度 0°, 10°, 20°, 30° では取得された顔特徴データと正確に一致し、それらの間の角度では滑らかに補間する形で、個人顔の似顔絵を生成できた。図 9 下段に結果の例を示す（添付ビデオ¹³⁾ 参照）。

(3) 考 察

手法 I と手法 II は特徴が異なり、現状では一概に優劣を定められない。ユーザ評価等を通じた詳細な比較は今後の課題である。二つの手法に共通する特徴は、角度変化に対応する成分を、平均顔の分析によって定義して用いることである。この成分は新たに与えられた顔写真に対しても適用できる。一方、一般のモーフィング技術¹²⁾ は、単に 2 枚以上の画像の対応点の関係を手がかりとして画像を変形して中間的な画像を得るものであり、提案手法のようにデータに内在する角度変化成分を明らかにするものではない。

5. む す び

本研究の成果として、 0° 、 10° 、 20° 、 30° の四つの角度からの顔写真を入力とすることで、各角度において個人の特徴を再現・強調した似顔絵を生成できるようになった。また、すべての角度のデータを含む固有空間上で角度変化に対応した成分を抽出することで、実際にはデータがない任意の角度の似顔絵を生成することも可能になった。今後の課題として、斜め似顔絵の表現力についてのユーザ評価や、明示的な3次元形状モデルを用いた似顔絵生成手法¹⁰⁾との得失の比較や統合が挙げられる。

最後に、本研究は、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「学際的研究による顔認知メカニズムの解明」課題番号 23119709 による助成を得た。

(文 献)

- 1) 村上 和人, 奥水 大和: “錯視を用いた似顔絵生成システム PICASSO について”, 情処論誌, **34**, 10, pp. 2106–2116 (1993.10)
- 2) 林 純一郎, 村上 和人, 奥水 大和: “PICASSO システムにおける横顔似顔絵自動生成手法”, 信学論, **J80-D-II**, 8, pp. 2102–2109 (1997.8)
- 3) 中洲 俊信, N.P. チャンドラシリ, 苗村 健, 原島 博: “対話型似顔絵作成システム NIGAO”, 映情学誌, **61**, 6, pp. 779–788 (2007.6)
- 4) G. Fu, Y. Chen, J. Liu, J. Zhou, P. Li: “Interactive Expressive 3D Caricatures Design”, IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo, pp. 965–968 (2008)
- 5) 金子 正秀: “コンピュータ似顔絵”, 映情学誌, **62**, 12, pp. 1938–1943 (2008.12)
- 6) 徐 光哲, 金子 正秀, 樽 松明: “固有空間を利用した計算機による似顔絵の生成”, 信学論, **J84-D-II**, 7, pp. 1279–1288 (2001.7)
- 7) 土橋 正和, 今井 順一, 金子 正秀: “顔特徴の高精度自動抽出と抽出座標値に対する主成分分析に基づく似顔絵生成システム”, 映情学技報, ME2007-72 (2007.2)
- 8) 小河原 智子: “10歳若返る! 似顔絵練習帳”, KK ベストセラーズ (2007.9)
- 9) 許 林, 高橋 桂太, 金子 正秀: “横顔特徴に対する定量的分析及び横顔似顔絵の自動生成”, 映情学技報, ME2012-36, **36**, 8, pp. 135–138 (2012.2)
- 10) 梅村 隆, 高橋 桂太, 酒澤 茂之, 金子 正秀: “個性を持ったキャラクター表現が可能な3次元似顔絵の自動生成”, 情処会全国大会, 3ZJ-3, **2**, pp. 669–670, (2012.3).
- 11) 高橋 秀政, 今井 順一, 金子 正秀: “顔印象の定量的記述と類似顔検索への応用”, 日本顔学会誌, **9**, 1, pp. 119–129 (2009.10)
- 12) S. Seitz, C. Dyer: “View Morphing”, Proc. ACM SIGGRAPH, pp. 21–30 (1996)
- 13) <http://www.youtube.com/watch?v=Y3F16LHVURA>

あやま 彩美 2012 年, 電気通信大学電気通信学部電子工学科卒業。現在, 株式会社リンクスに勤務。在学中, コンピュータによる似顔絵生成の研究に従事。

たかはし けいた 高橋 桂太 2001 年, 東京大学工学部電子情報工学科卒業。2006 年, 同大学院情報理工学系研究科博士課程修了。博士(情報理工学)。東京大学 IRT 研究機構特任助教などを経て, 現在, 電気通信大学大学院情報理工学研究科助教。3次元映像, イメージベースドレンダリングなどの研究に従事。

かねこ まさひで 金子 正秀 1976 年, 東京大学工学部電子工学科卒業。1981 年, 同大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。国際電信電話株式会社研究所主幹研究員, 東京大学大学院工学系研究科助教授などを経て, 現在, 電気通信大学大学院情報理工学研究科教授。顔画像処理, ヒューマン・ロボット・コミュニケーションなどの研究に従事。正会員(フェロー)。