

形状とテクスチャを分離した顔パターンの多様性の表現：印象を変化させるイメージ生成への応用

TAKAHASHI, Masaomi / AKAMATSU, Shigeru / 高橋, 正臣 / 遠藤, 彩子 / ENDO, Ayako / 赤松, 茂

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会技術研究報告. ITS / 電子情報通信学会技術研究報告. ITS

(巻 / Volume)

102

(号 / Number)

629

(開始ページ / Start Page)

149

(終了ページ / End Page)

154

(発行年 / Year)

2003-01-27

形状とテクスチャを分離した顔パターンの多様性の表現 —印象を変化させるイメージ生成への応用—

高橋 正臣[†] 遠藤 彩子[†] 赤松 茂[†]

[†]法政大学大学院工学研究科システム工学専攻

〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2

E-mail: † {i01r6123, akamatsu}@k.hosei.ac.jp

あらまし 本論文では、属性が多岐にわたる多数の顔画像を対象に、顔パターンの特徴点の位置と、形状を規格化した顔面テクスチャをそれぞれ独立に主成分分析することによって、顔の多様性を少数のパラメータで表現するモデルを作成した。そして、属性や印象を一对の形容詞で表現される2つの顔画像サンプル集合について、このモデルを用いて次元圧縮したデータを対象として、そのパラメータ空間での属性・印象の変化を表現する印象変換ベクトルを求めた。任意の人物の顔画像について、この印象変換ベクトルを用いて属性・印象を変化させたイメージの生成法を提案し、システムの適用性を検討した。

キーワード 顔画像生成, イメージ変換, 主成分分析, Fisher の線形判別分析, 印象の分析

A separated linear representation of shape and texture for modeling appearance variations of human faces

— toward image synthesis transforming impressions conveyed by human faces —

Masaomi TAKAHASHI[†] Ayako ENDO[†] and Shigeru AKAMATU[†]

[†] Department of System Control of Engineering, Graduate School of Engineering, Hosei University

3-7-2, Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184-8584 Japan

E-mail: † {i01r6123, akamatsu}@k.hosei.ac.jp

Abstract This paper describes a linear representation of the separated shape and texture spaces obtained by principal component analysis of the facial images that allows a smooth modeling of variations in the appearance of human faces. A computational model of image transformation acting on visual impression of the faces has been proposed by applying Fisher's linear discriminant analysis on the separated linear shape and texture spaces respectively, and rating evaluations are being made on its applicability to synthesis of impression-manipulated facial images.

Keyword Facial image synthesis, Image conversion, Principal component analysis, Fisher's linear discriminant analysis, Impression analysis

1. まえがき

人間は顔という視覚パターンからその人物の年齢、性別、社会的帰属といった属性や、性格、魅力などの様々な印象を得ている^[1]。物理的な特徴を変化させた顔画像を視覚刺激とした印象の主観評定実験により、これらの印象が顔の物理的な特徴と一定の関係をもつことを示唆する結果が幾つか得られている^{[2][3][4]}。そこで、顔の物理的な特徴の多様性を表すパラメータと、その顔から人間に認知される印象との関係をモデルとして定式化することを試みる。このようなモデルが構

築できれば、顔画像をその印象に応じて分類したり、顔の印象を操作・変換して可視化するイメージ処理に応用することが期待できる。また、顔の物理的な特徴を表すパラメータを媒介とすることにより、人間に認知される異なった次元の印象相互の関係を定量的に明らかにできるようになり、視覚コミュニケーションにおける人間の感性の特性を科学的に理解することに貢献するものと考えられる。

本研究では、顔パターンの物理的な特徴の多様性と、それから認知される印象との関係を近似するモデルを提案し、与えられた顔画像の印象を変換するイメージ

生成への応用可能性を探ることを目指している。同様の先行研究として、例えば顔が与える年齢の印象を操作する顔画像合成に関して、骨格などの経年変化を知識として利用する解剖学的手法^[5]、事例として用意された顔画像サンプル集合の中での年齢の印象変化に寄与する特徴を抽出した統計的手法^{[6][7]}がある。本研究はこのうち後者の範疇に属するもので、多様な印象を与える顔画像サンプル集合について、個々の顔がもつ物理的データの主成分分析を行う点で文献[7]と共通している。本研究では、形状とテクスチャを分離して顔パターンを表現するとともに、パラメータ空間に判別分析法を適用し、印象変化に対応する物理的な特徴量を抽出しようとした点に特色がある。

まず2.では、顔パターンの物理的な特徴表現法として、形状とテクスチャを分離することで、近似的に顔パターンを多次元ベクトルとして表す方法を示す。顔として共通の構造をもちながら複雑で微妙な形状の違いで各人の個性を表現しうる特徴は量的に膨大なものとならざるをえず、多変量解析法による次元圧縮は不可欠であるが、そのためには多次元特徴はベクトル空間を定義する必要がある^[8]。形状を表している特徴点の位置座標と、対応する特徴点を基準にパターンを再サンプリングしてそのテクスチャを表現した濃淡値とからなる多次元特徴は、このような条件を満足している^[9]。ここでは FUTON システムと呼ばれる顔画像のモーフィング・システム^[10]を用いて、形状が規格化された顔面テクスチャに変換することによって、顔のもつテクスチャのベクトル表現化を行っている。

3.では、多様な印象を与える顔を集めたサンプル集合について、各パターンの形状とテクスチャを表す多次元ベクトルに対してそれぞれ独立に主成分分析を行い^{[9][11]}、顔パターンの物理的特徴の多様性を少数のパラメータで記述する過程を示す^[12]。また、この低次元のパラメータ空間の各主軸によって表現される顔の物理的特徴の変化の可視化^[9]を試みる。

そして4.では、2つの相反する印象（例として、ここでは老・若という見かけの年齢に関する印象ペアをとりあげる）を与える顔のグループを低次元のパラメータ空間でもっとも良く分離する射影軸を Fisher の線形判別法^[13]によって求め、この射影軸方向を与える「印象変換ベクトル」を定義する。そして、任意の顔画像に対して、その形状とテクスチャを表す特徴ベクトルを主成分分析によって得られたパラメータ空間に写像した点を、予め求めた印象変換ベクトルの方向に変位させ、そこから形状とテクスチャ情報に逆写像することによって、印象の変化したイメージを可視化する手法を提案する。与えられた入力顔画像に対して、相反する印象ペアの間で印象が推移する顔画像を生成

できているかどうかの主観評定実験を行い、印象を変化させるイメージ生成法の有効性について考察する。

2. 顔パターンの物理的な特徴表現法

2.1. 顔パターンのベクトル表現の前提

顔パターンをベクトル量として表現するためには、それぞれの顔について指定された特徴点を正確かつ安定に抽出する必要がある。また、これらの特徴点を基準として、異なる顔の間で画素の対応関係を求めて、その濃淡値をサンプリングして同一規格のベクトルとして表現する必要がある。こうした要求に応えるために、本研究では顔画像合成ソフトウェア FUTON システムにおける顔の特徴点の位置座標抽出機能とモーフィング機能を使用した。

2.2. 形状とテクスチャの分離

2.2.1. 形状ベクトルの抽出

形状ベクトルの抽出には、FUTON システムで定義された顔の造作によって定まる 83 個の特徴点を目視で抽出してサンプリングを行った。サンプリングを行った対応点情報はファイルとして保存されるので、このファイルから 91 個（画枠 8 点含む）の XY 座標値を一列に並べた 182 次元ベクトルを、形状ベクトルとする。

なお、特徴点の取得は同一人物がすべてのデータに対して行い、特徴点取得基準が一定となるようにした。

2.2.2. テクスチャベクトルの抽出

テクスチャベクトルの抽出は、まず顔画像の特徴点同士を結んでできる三角パッチ領域内の濃淡値を、対応関係にある平均形状の三角パッチへマッピングすることで形状が規格化された顔面テクスチャを得る。これを「shape-free パターン」と呼ぶことにする。shape-free パターンは、サンプル集合から個々の顔パターンごとに異なる形状の差が取り除かれ、サンプル集合間の画素ごとの対応が取れているので、濃淡値のベクトルと解釈できる。次に、顔の特徴点の切り出した画像内に収まるよう、傾き・大きさ・位置の正規化を行う。その後、顔の中心領域を 128×128 画素として切り出し、カラー画像からモノクロ濃淡画像へと変換する。こうして出来上がった画素の濃淡値を一列に並べた 16384 次元ベクトルをテクスチャベクトルとする。

顔画像に対して形状とテクスチャを分離したベクトル化の流れを図 1 に示す。

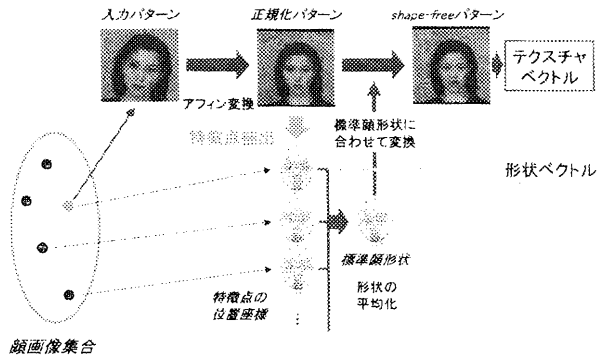


図1 形状とテクスチャを分離したベクトル化の流れ

3. 顔パターンの多様性を記述する低次元のパラメータ空間

属性が多岐にわたる多数の顔画像を対象に、顔パターンの形状ベクトルと、テクスチャベクトルをそれぞれ独立に主成分分析を適用して、顔の多様性を少数のパラメータで表現する方法を述べる。

3.1. ベクトル表現された顔のサンプル集合に対する主成分分析の適用

はじめに、顔のサンプル集合に対して、形状とテクスチャそれぞれ独立に主成分分析を行い、正規直交基底（固有顔）を求める。

いま N 次元ベクトルで表される M 個のパターン $\mathbf{X}_m (m=1,2,\dots,M)$ からなるサンプル集合が与えられているとすると、その K 個の正規直交基底 \mathbf{U}_k に対する射影値（重み係数） $f_{m,k}$ は、

$$f_{m,k} = \mathbf{U}_k^T (\mathbf{X}_m - \boldsymbol{\mu}) \quad (k=1,2,\dots,K \leq M) \quad (1)$$

と表される。ここで、 $\boldsymbol{\mu}$ は、サンプル集合の平均ベクトルである。なお、 $\mathbf{U}_k (k=1,2,\dots,K)$ は、顔パターンの多様性をより良く反映させるために、固有値の大きさの順に K 個の固有ベクトルを選択したものである。

3.2. パラメータ空間が表現する顔の多様性を可視化する仕組み

形状ベクトルとテクスチャベクトルのそれぞれについて、主成分分析によって得られた各正規直交基底を線形結合することによって、任意の顔を表現した特徴ベクトルが得られる。このとき線形結合の重み係数を変化させることにより、様々な顔パターンを生成することができる。以下に、その手順を示す。

パラメータ空間の k 番目の主軸方向が、多様な顔パターン $\mathbf{X}_m (m=1,2,\dots,M)$ の物理的特徴をどのように表現しているかを可視化するには、正規直交基底 \mathbf{U}_k を重み付けした分だけ変位するように、次のように表現する。

$$\hat{\mathbf{X}}_{k,c} = \boldsymbol{\mu} + p_c \sigma \mathbf{U}_k \quad (2)$$

ここで、 p_c と σ は、正規直交基底 \mathbf{U}_k に対する射影値（重み係数）であり、 σ を

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{k=1}^K f_{m,k}^2} \quad (3)$$

とする。

その後、FUTON システムを用いて、形状ベクトルの場合は、求めた形状の顔パターンと平均テクスチャを合成し、また、テクスチャベクトルは求めたテクスチャの顔パターンと平均形状を合成することにより、それぞれ顔画像を生成する。

3.3. 実験の条件

実験に使用した顔画像データベースは男女 276 名、それぞれ 10 代から 60 代からなる年齢層で、すべて表情を真顔、撮影方向を正面としたものである。

3.4. 実験結果の評価

形状とテクスチャそれぞれについて主成分分析を行った結果を、形状ベクトルについて平均から正規直交基底 \mathbf{U}_k の方向へ変化させたものを図 2 に、テクスチャベクトルについて同様に変化させたものを図 3 にそれぞれ示す。

形状ベクトルにおける第 1、第 2、及び第 4 主成分は、サンプル集合の被写体による位置のずれを表した。まず、第 1 主成分は、重み係数をプラス方向に変位させると被写体全体が画面に向かって左方向に移動し、マイナス方向に変位させると右方向に移動した。第 2 主成分は、被写体全体が上下に移動する様子を示し、第 4 主成分は、顔の向きによる変化を示した。

第 3、及び第 5 主成分以降から顔の形状における変化を示した。まず、第 3 主成分は輪郭全体の大きさによる変化を示した。第 5 主成分は、前髪の長さ、頬から顎にかけて変化を示し、第 6 主成分は、顔の輪郭が横方向に変化を示した。

また、全体として性差を反映した印象を与えるように解釈できる変化を示した主軸もあった。

テクスチャベクトルにおける各主成分は、照明の明るさにおけるパターンの違いから様々な見えの変化をもたらした。第 1 主成分は、顔全体の明暗を示した。第 2 主成分は、光源が中心にあるか、分散しているかの違いを示し、その結果、首の太さが変化して見えた

ことで男女間における性差を示した。第3主成分は、光源が上下に移動する様子を示した。第4主成分は、眉・口の周りの明暗を示した。その結果、眉の濃さ・口髭の有無が際立ち、男女間における性差を示した。第5主成分は目元・口の周りの明暗を示した。その結果、目元の彫りの深さ、口髭の有無が際立ち、男女間における性差を示した。第6主成分は、顔や衣類の凹凸の明暗を示した。その結果、顔の凹凸では皺が際立ち、衣類ではラフな格好か、そうでないかの違いを見せ、全体として年齢と性差を融合した様子を示した。

主成分	重み係数 p_c				
	-6	-3	0	+3	+6
第1					
第2					
第3					
第4					
第5					
第6					

図2 形状ベクトルのパラメータ空間が表す顔の変化

主成分	重み係数 p_c				
	-6	-3	0	+3	+6
第1					
第2					
第3					
第4					
第5					
第6					

図3 テクスチャベクトルのパラメータ空間が表す顔の変化

4. 印象変換ベクトルにもとづくイメージ生成

Fisher の線形判別法は、予め2つのクラス分け情報が与えられたサンプル集合を用いて、元の特徴ベクトルを、この2クラスを判別するのにもっとも適した射影軸へ変換する線形写像を求める手法である。本論文では、この手法を応用して印象の変化をもたらすパラメータ空間での方向を表す単位ベクトル（印象変換ベクトルと呼ぶ）をもとにイメージを変換する。

4.1. 印象変換ベクトルを求める処理手順

はじめに、与えられた顔パターン $X_m (m=1,2,\dots,M)$ に対してイメージ変換処理の題材となる一対の形容詞で表現されるイメージの軸を選ぶ。この軸上の両極端に位置するイメージのグループをクラス1、クラス2とする。

ところで、入力する顔パターン X_m の記述には、(1)式より上位固有値の正規直交基底 U_i から順に累積寄与率が適当と思われる K 個までを用いて、次式のように K 次元に次元圧縮した特徴ベクトルとすることを前提条件とする。

$$f_m = (f_{m,1}, f_{m,2}, \dots, f_{m,K}) \quad (4)$$

サンプル集合 $X_m (m=1,2,\dots,M)$ のうち、主観的に判断したクラス1に属する M_1 個の入力パターンを $F^{(1)} = \{f^{(1)}_1, f^{(1)}_2, \dots, f^{(1)}_{M_1}\}$ 、クラス2に属する M_2 個の入力パターンを $F^{(2)} = \{f^{(2)}_1, f^{(2)}_2, \dots, f^{(2)}_{M_2}\}$ とする。なお、 M 個の顔パターンの中でクラス1,2のいずれにも属さないものがあったとしてもよいとする。

この2クラスの入力パターンを最適に分離する射影軸を以下のFisherの線形判別法によって求める。

$$y_m = e' f_m \quad (5)$$

ここで f_m は、2クラスの入力パターンの中から任意に取り出した顔画像とする。また、 e は、 f_m と同じ K 次元空間において、クラス間の印象の違いを最もよく表す単位ベクトルであるので、イメージ変換処理は、この e を求める問題に帰着できる。本論文では、3.と同様に f_m を、形状ベクトルとテクスチャベクトルのそれぞれについて行う。

4.2. 印象を変化させるイメージ生成システム

イメージ変換処理の流れは、印象変換ベクトル e に様々な重み係数を掛けた加重和と主成分分析によって得られた正規直交基底の線形結合によって生成する。以下に、その処理手順を示す。

顔画像 f_m を、印象変換ベクトル e を用いて重み付

けた分だけ変位させた顔画像を求める。

$$\hat{\mathbf{f}}_{m,c} = \mathbf{f}_m + q_c \delta \mathbf{e} \quad (6)$$

ただし、 $\hat{\mathbf{f}}_{m,c} = (\hat{f}_{m,1,c}, \hat{f}_{m,2,c}, \dots, \hat{f}_{m,k,c})$

ここで、 q_c 、 δ は、印象変換ベクトル \mathbf{e} に対する重み係数である。

イメージ変換後の顔画像 $\hat{\mathbf{x}}_{m,c}$ の記述には、重み付けた分だけ変位させた顔画像 $\hat{\mathbf{f}}_{m,c}$ と、正規直交基底 \mathbf{U}_k を用いて、その線形結合により K 次元に次元圧縮し、次のように表現する。

$$\hat{\mathbf{x}}_{m,c} = \boldsymbol{\mu} + \sum_{k=1}^K \hat{f}_{m,k,c} \mathbf{U}_k \quad (k=1,2,\dots,K \leq M) \quad (7)$$

ここで、 $\boldsymbol{\mu}$ は M 個の顔画像 $\mathbf{x}_m (m=1,2,\dots,M)$ の平均ベクトルとする。

(7)式によって得られた形状ベクトル、テクスチャベクトルとから、FUTONシステムを用いて、顔パターンを融合する。図4に任意の顔画像 \mathbf{f}_m に対して、印象変換ベクトルの方向に変位させた顔画像 $\hat{\mathbf{f}}_{m,c}$ の様子を示す。

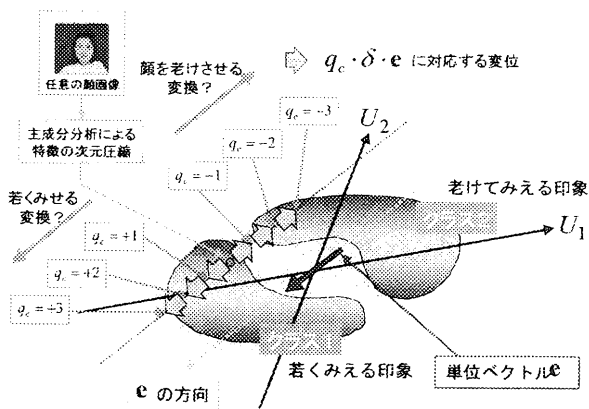


図4 印象変換ベクトルによるイメージ生成

4.3. イメージ変換の実験

使用した顔画像データベースは3.3の男女276名の中から、低年齢の上位100名を「若々しい」クラスとし、高年齢の上位100名を「年寄りじみた」クラスとした。また、この入力パターンの記述には、上位固有値の正規直交基底 \mathbf{U}_k から順に累積寄与率が適当と思われる50個までを用いて行った。ここでは予備実験として、形状ベクトルのみについて印象を変化させたイメージの生成結果を図5に示す。なお、テクスチャのマッピングには2つのクラスから任意に取り出した人

物のものを用い、FUTONシステムによって顔の多様性を可視化した。

重み係数 q_c						
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
← 年寄りじみた				若々しい →		
「低年齢」集合から取り出した10代後半の女性						

重み係数 q_c						
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
← 年寄りじみた				若々しい →		
「高年齢」集合から取り出した60代後半の男性						

図5 生成された顔イメージの例

そして、これらの射影軸方向へ重み係数をそれぞれ変位させて生成した顔画像が2クラスの間で印象が推移できているかを主観的に判定するために、この重み係数との差を変化させて任意に取り出したペアについて、どちらの顔がより年長に見えるかの主観評価実験を現在行っており、講演で発表する予定である。

5. むすび

本論文では、顔パターンの特徴点の位置と、形状を規格化した顔面テクスチャをそれぞれ独立に主成分分析することによって、顔の多様性を少数のパラメータで表現するモデルを作成した。そしてこのモデルを用いて次元圧縮された、属性や印象を一对の形容詞で表現される2つの顔画像サンプル集合を対象として、パラメータ空間での印象変換ベクトルを求めて、入力画像の印象を変化させたイメージの生成法を提案し、システムの適用性を検討した。

今後は、一对の形容詞で表される2つの顔画像サンプル集合を、さまざまな属性、印象を対象として比較評価を行い、心理学的立場からの検討を行っていく予定である。

6. 謝辞

本研究では顔画像サンプルとして、財団法人ソフピアジャパンより教育研究目的での使用を許諾されたHOIP顔画像データベースを用いた。記して謝意を表す。FUTONシステムは第三著者らが(株)エイティアール人間情報通信研究所において心理実験の視覚刺激作用ツールとして開発した顔画像合成ソフトである。

文 献

- [1] V. Bruce, 顔の認知と情報処理, 吉川左紀子(訳), サイエンス社, 1990.
- [2] 山口真美, 加藤隆, 赤松茂, “顔の感性情報と物理的特徴との関連について-年齢/性の情報を中心に-,” 信学論, Vol.79-A, No.2, pp.279-287, Feb. 1996.
- [3] D.I.Perrett, K.J.Lee, I.Penton-Voak, D.Rowland, S.Yoshikawa, D.M.Burt, S.P.Henzi, D.Castles, and S.Akamatsu, "Effects of sexual dimorphism on facial attractiveness," Nature, Vol.394, No.6696, pp.884-887, Aug. 1998.
- [4] 伊師華江, 行場次朗, 蒲池みゆき, 向田茂, 赤松茂, “合成顔に対する男性と女性の魅力度評価の相違点 - 女性化と子供化変形に対する偏好性を指標として - ,” 信学技報, HIP2001-3, pp. 17-22, May 2001.
- [5] 中川雅通, 宋續敏彦, 角義恭, 前原文雄, 千原國宏, “骨格モデルを用いた顔画像の年齢変化シミュレーション,” 信学論, Vol.80-A, No.8, pp.1312-1315, Aug. 1997.
- [6] D.A.Rowland, and D.I.Perrett, “Manipulating Facial Appearance through Shape and Color,” IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.15, No.5, pp.70-76, Sept. 1995.
- [7] 向田茂, 安藤広志, 木下敬介, 蒲池みゆき, 千原國宏, “顔画像生成のための統計的な年齢特徴抽出,” 日本顔学会誌, Vol.2, No.1, pp.15-23, 2002.
- [8] D.Beymer, and T.Poggio, "Image Representations for Visual Learning," Science, Vol. 272, pp.1905-1909, 28 June 1996.
- [9] Thomas Vetter and Nikolaus Troje, “A separated linear shape and Texture space for modeling two-dimensional images of human faces,” Technical Report, no.15, Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, April.1995.
- [10] 蒲池みゆき, 向田茂, 吉川左紀子, 加藤隆, 尾田政臣, 赤松茂, “顔・表情認知に関する心理実験のための顔画像合成システム,” 信学技報, HIP97-39, pp.73-80, Jan.1998.
- [11] 永田明徳, 岡崎透, 崔昌石, 原島博, “主成分分析による顔画像の基底生成と空間記述,” 信学論 (D- II), vol.J79-D- II , no.7, pp.1230-1235, July.1996.
- [12] 高橋正臣, 遠藤彩子, 赤松茂, “顔パターンのもつ多様性のパラメータ表現 - イメージにもとづく顔画像生成への応用を目指して - ,” 日本顔学会誌, Vol.2, No.1, p.202, Sept. 2002.
- [13] 石井健一郎, 上田修功, 前田英作, 村瀬洋, わかりやすいパターン認識, オーム社, 1998.