Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers

社団法人 電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
IEICE Technical Report
PRMU2010-263(2011-03)

学習型局所画像変換に基づく顔向き変換手法に関する検討

河野 雄紀† 高橋 友和†,†† 出口 大輔† 井手 一郎† 村瀬 洋†

† 名古屋大学 大学院情報科学研究科 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
† 岐阜聖徳学園大学 経済情報学部 〒500-8288 岐阜県岐阜市中鶉1丁目38番地
E-mail: †ykono@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp,
†††{ddeguchi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 近年，監視カメラ画像中の人物識別に対する需要が高まっている．しかし，監視カメラから得られる人物の画像は，識別用顔画像と顔向きが異なる場合が多く，コンピュータで人物識別することは困難である．そこで，本報告では学習型局所画像変換に基づく顔向き変換手法を提案する．本手法を用いて，入力人物の顔向きを識別用顔画像の顔向きに変換することで顔認識が容易になる．提案手法は多数の人物の様々な角度の顔画像データセットを用いて，局所画像（パッチ）単位で顔画像を変換し，パッチを張り合わせることによって全体の顔画像を生成する．また，異なる人物間と角度間で同一部位が含まれるように，各パッチを対応付けることで，高精度な顔向き変換を実現する．入力角度を変えながら正面顔画像への変換を行い，人物識別実験を行ったところ，平均で77%の識別率が得られた．

キーワード 画像生成，顔向き変換，VTM

A study on facial pose transformation based on learning-based local image transformation

Yuki KONO†, Tomokazu TAKAHASHI†,††, Daisuke DEGUCHI†, Ichiro IDE†, and Hiroshi MURASE†

† Graduate School of Information Science, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan
† Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University
Nakauzura 1–38, Gifu-shi, Gifu, 500-8288 Japan
E-mail: †ykono@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp,
†††{ddeguchi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp

Abstract Recently, the demand for person identification in surveillance camera images is increasing. However, the facial pose of a person in surveillance camera images often differs from the facial pose in an person identification database. Therefore, it is difficult to identify a person in the image. In this report, we propose a method for facial poses transformation based on a learning-based local image transformation. It tackles face recognition across pose by virtually transforming a facial pose to the pose in the person identification database. The proposed method transforms facial poses using a face image dataset which consists of face images of a large number of individuals with various poses. I performs a patch-wise transformation, which transforms a partial image (patch) in a face at each location on the face. Also, it is necessary to find correspondences of patches between different poses and individuals so that the same part should be contained in the patches for achieving accurate pose transformation. A face recognition experiment was conducted with frontal face images transformed by the proposed method. As a result, the proposed method achieved a recognition rate of 77%.

Key words image synthesis, face pose transformation, VTM

Copyright ©2011 by IEICE
NII-Electronic Library Service

1. はじめに

近年，治安の悪化とそれに伴う防犯意識の高まりを受け，監視カメラの設置が急速に進んでいる．それに伴い，これらの監視カメラから得られる映像を用いた人物監視に対する需要が高まっている．しかし，監視カメラを用いた人物の特定は人手で行われることが多く，非常に手間がかかる．そのため，コンピュータを用いた人物認識に関する研究が盛んに行われている．現状では，監視カメラの設置位置や台数には制約があるため，監視カメラから得られる人物映像は一定方向から撮られた映像である場合が多い．そのため，識別用顔画像データベースと入力で顔向きが異なる場合でも高精度に顔認識する技術が求められている．

顔認識の精度は顔向きや照明条件，オクルージョンなどに大きく左右される．特に，顔向きが異なる場合，同一人物でもその見た目は大きく異なる．その見た目の差は同じ顔向きの違う人物の差より大きい場合がある．そのため，データベースと入力の顔向きが異なる場合，eigenface [1] のようなアピアランスベースの典型的な方法では認識率が低下する．この問題を解決するために多くの手法が提案されている．それらは以下の 2 つに大きく分けられる．

- ビューベース顔認識
- 顔向き変換による顔認識

顔向きの問題を解決する目的で，ビューベースの手法が広く用いられている [2] [3] [4] [5]．例えば，Gross ら [4] [5] が提案した ELF（Eigen Light-Field）は，まず入力画像から対象の顔の ELF を推定する．そして，入力された人物とデータベース中の人物の ELF を比較することによって人物認識を行っている．しかし，ビューベースの手法の欠点は，識別に用いる顔画像データベース内にそれぞれの人物に対して複数の顔向きの顔画像が必要となるため，識別用の顔画像データベース中に各人物の顔画像が 1 枚しか登録されていない場合には適用することが困難である．

仮想的に別の顔向きの顔画像に変換する方法も，顔認識において顔向きが異なる問題を解決する方法の一つである．顔向き変換を用いて，入力された顔画像をデータベース中の顔画像の顔向きに変換することで，顔向きが異なることによる同一人物間の見えの違いの問題を解決することができる．任意の方向から撮影された顔画像を推定する手法として，入力された複数枚の顔画像から顔の 3 次元形状を獲得し，それを 3 次元的に回転させて任意の方向からの顔画像を作成する手法 [6] がある．顔の 3 次元形状を獲得するにはレーザレンジスキャナなどの特殊な装置を用いたり，複数視点からの画像を用いて復元する必要がある．レーザレンジスキャナは高価であり，監視カメラに搭載するのは現実的でない．また，3 次元形状を獲得する代わりに，複数視点からの画像を用いる場合 [7] [8] も画像間に密で正確な対応点を与える必要があり，これは手間のかかる作業である．そのため，これらの手法では任意の方向から撮られた顔画像の推定は難しい．そのほかに，Blanz ら [9] [10] [11] は 3 次元顔モデルの復元を行う 3-D morphable model を提案した．この手法は事前に顔の形状やテクスチャに関する知識を PCA によりモデリングする．ただし，入力された顔画像の形状とテクスチャを対応付けする必要がある．このように，3 次元モデルによる顔向き変換は形状やテクスチャに関するパラメータを適切に決める必要がある．また，人間の顔の特徴点を計算機によって取得するには色情報や顔の幾何学的特徴などを利用する必要がある [12]．しかしながら，低解像度画像やグレースケール画像でこれを実現するのは難しい．また，手作業で行う場合には非常に手間がかかる．

そこで本報告では，学習型局所画像変換に基づく顔向き変換手法を提案する．提案手法は顔の 3 次元モデルや多数で正確な特徴点を用いる代わりに，多数の人物の様々な角度の顔画像データセットから得られる情報を利用して，入力される人物の顔向きを任意の向きに変換するものである．具体的には，内海ら [13] が提案した VTM（View Transition Model）の局所的な利用とパッチ対応付けを組み合わせた顔向き変換手法を提案する．VTM は大量の画像を用いて画像中の人物の姿勢や向きの変換を行う手法である．本手法は，以下の二つの方法によって高精度な顔向き変換を実現する．

（1） 局所画像（パッチ）内のテクスチャの変化を顔画像データセットから学習

（2） 少ない特徴点から各パッチ位置の大まかな対応を決定

人物の顔は全体で見ると人物それぞれで異なるが，鼻や目と言った部位ごとに見れば似ていることがある．そこで，提案手法では，顔画像全体を用いて顔向き変換を行うのではなく，画像をパッチに分割し，パッチ単位で変換したものを張り合わせることによって顔画像全体を生成する．パッチに分割することで，顔の各部位に注目した処理が実現できる．しかし，顔の部位の位置は個人により異なるため，単純にパッチに分割するだけでは同一部位が同じパッチ内に含まれるとは限らない．そこで，異なる人物同士と異なる角度同士で同一部位が含まれるように，各パッチを対応付ける必要がある．提案手法では両目と鼻下の 3 点のみを用いてこのパッチ対応付けを実現する．

提案手法の類似手法として LLR（Locally Linear Regression）[14] が挙げられる．この手法は入力された 1 枚の非正面顔画像をパッチと呼ばれる局所画像に分割し，多数の他の人物の顔画像から線形回帰によって得られた変換モデルを用いて対応する正面顔のパッチに変換し統合する手法であり，パッチ位置の対応付けには円柱モデルを利用している．これに対して，提案手法は入力枚数を複数に適応させ，パッチ位置の対応付けにはをアフィン変換を利用し，高精度な顔向き変換を実現している．

以下，2. で提案手法の処理手順について説明する．次に 3. で実際の顔画像を用いた実験の結果を述べ，その結果をもとに 4. で提案手法の有効性について考察する．最後に 5. でまとめる．

2. 提案手法

2.1 提案手法の概要

本手法は，まず，多数の人物の様々な角度の人物の顔画像のデータセットを用て学習を行う．そして，入力された人物の顔

NII-Electronic Library Service

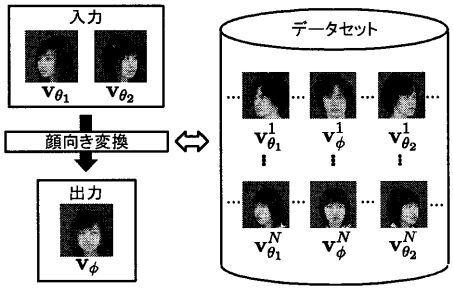

図 1　角度 θ_1 から撮影された顔画像 $\mathbf{v}_{\theta_1}$ と角度 θ_2 から撮影された顔画像 $\mathbf{v}_{\theta_2}$ の 2 枚の入力から，角度 ϕ から撮影された顔画像 $\mathbf{v}_{\phi}$ への変換.

画像を異なる向きから撮影された顔画像に変換する.

本手法の入力画像の枚数は任意であるが，説明の簡略化のため入力画像の枚数を 2 枚とする．具体的には，図 1 のように，角度 θ_1 から撮影された顔画像 $\mathbf{v}_{\theta_1}$ と角度 θ_2 から撮影された顔画像 $\mathbf{v}_{\theta_2}$ の 2 枚の入力から，角度 ϕ から撮影された顔画像 $\mathbf{v}_{\phi}$ を推定する．このとき，データセット中の顔画像 $\mathbf{v}^n_{\theta_1}$，$\mathbf{v}^n_{\theta_2}$，$\mathbf{v}^n_{\phi}$ $(n = 1, ..., N)$ を学習データとして変換行列を学習し，変換に用いる．ただし N はデータセット中の人物の数を表す.

人物の顔は全体では人物それぞれで異なるが，鼻や目といった部分ごとに見れば似ている場合がある．そこで本手法では，顔画像全体を用いて顔向き変換を行うのではなく，図 2 のように画像を局所画像（パッチ）に分割し，図 3 のようにパッチ単位で変換したものを図 4 のように張り合わせることによって顔画像全体を生成する.

顔画像をパッチ単位で変換する際，異なる人物同士と異なる角度同士で同一部位がパッチ内に含まれるよう各パッチを対応付ける．これにより，顔のパーツに注目した顔向き変換を行うことができる.

$\mathbf{v}_{\theta_1}$，$\mathbf{v}_{\theta_2}$ を入力し，$\mathbf{v}_{\phi}$ を出力する場合の提案手法の処理手順を以下にまとめる.

［学 習］

（1）　データセット中の顔画像 $\mathbf{v}^n_{\theta_1}$，$\mathbf{v}^n_{\theta_2}$，$\mathbf{v}^n_{\phi}$ $(n = 1, ..., N)$ を重なりを含むパッチに分ける（図 2）.

（2）　同一人物の顔画像の各パッチに対して θ_1 と ϕ 間，θ_2 と ϕ 間でパッチ内に同一部位が表れるように対応付けを行う.

（3）　対応付いたパッチを用いて，パッチの位置ごとに変換行列を作成する.

［顔向き変換］

（1）　入力顔画像 $\mathbf{v}_{\theta_1}$，$\mathbf{v}_{\theta_2}$ を重なりを含むパッチに分割する.

（2）　学習と同様に θ_1 と ϕ 間，θ_2 と ϕ 間でパッチの対応付けを行う.

（3）　学習で得られたパッチの位置に対応する変換行列を用いて，入力画像の各パッチを変換したい顔向きのパッチに変換する（図 3）.

（4）　変換されたパッチを張り合わせて，顔画像 $\mathbf{v}_{\phi}$ を合成する（図 4）.

以上の学習型局所画像変換を以下では LVTM（Local View Transition Model）と呼ぶ．各処理について以下で詳しく述べる.

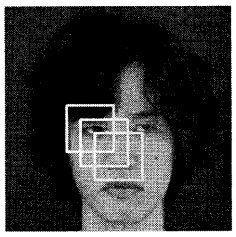

図 2　パッチの例. パッチは重なりを含む.

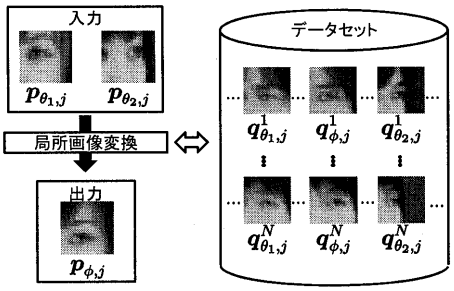

図 3　局所画像変換.

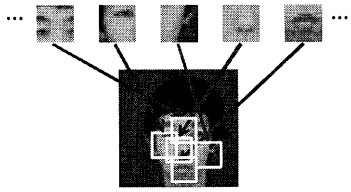

図 4　張り合わせによる顔画像の合成.

2.2　パッチ対応付け

提案手法は図 3 のようにパッチ単位で顔向きを変換するため，異なる角度間で同一部位を含むパッチ同士の対応付けを行うことにより高精度な顔向き変換が実現できる．例えば，図 5 のように左の顔画像のパッチと右の顔画像の右のパッチは画像中では同一座標にあるが，パッチ内のテクスチャは大きく異なる．しかし，点線のパッチの位置のパッチと対応を取ると似たテクスチャをもつパッチ同士の対応付けを行うことができる．このように角度間で似たテクスチャを持つパッチ同士で対応付けを行うことで顔の同一部位を含むパッチ間の変換が可能となる．本研究ではアフィン変換を用いて，画像中の左右の目の各々の中心と鼻下の 3 点の位置を合わせることによりパッチ間の対応付けを実現する.

アフィン変換を用いたパッチ対応付けを式で表すと以下のようになる．変換したい角度の顔画像 $\mathbf{v}_{\phi}$ 中の位置 (x, y) のパッチを $\boldsymbol{p}_{\phi}(x, y)$ とする．そして，入力された角度の顔画像中 $\mathbf{v}_{\theta_1}$ 中の位置 (x', y') のパッチを $\boldsymbol{p}_{\theta_1}(x', y')$ とする．以下の式でパッチ間の対応を与える.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

ここで，$\mathbf{v}_{\phi}$ の左目の位置が (l_x, l_y)，右目が (r_x, r_y)，鼻先が

NII-Electronic Library Service

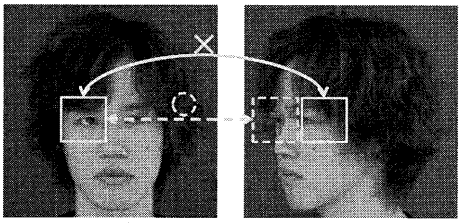

図 5　異なる角度間のパッチ対応付け．左の顔画像のパッチと右の顔画像の右のパッチは画像中では同一座標にあるがパッチ内に含まれる顔の部位は異なる．しかし，左の位置の点線のパッチと対応を取ると同じ部位を含むパッチ間の対応付けを行うことができる．

表 1　パッチに関する記号のまとめ．

Patch	Symbols
Input	$\boldsymbol{p}_{\theta_1,j}, \boldsymbol{p}_{\theta_2,j} \quad (j=1,...,P)$
Output	$\boldsymbol{p}_{\phi,j} \quad (j=1,...,P)$
Dataset	$\boldsymbol{q}^n_{\theta_1,j}, \boldsymbol{q}^n_{\theta_2,j}, \boldsymbol{q}^n_{\phi,j} \ (n=1,...,N) \quad (j=1,...,P)$

(n_x, n_y) で与えられ，同様に，$\mathbf{v}_{\theta_1}$ の左目の位置が (l'_x, l'_y)，右目が (r'_x, r'_y)，鼻先が (n'_x, n'_y) と与えられたとき，$\mathbf{A}$ は以下の式で与えられる．

$$\begin{bmatrix} l'_x & r'_x & n'_x \\ l'_y & r'_y & n'_y \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} l_x & r_x & n_x \\ l_y & r_y & n_y \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

以上の変換を全ての位置のパッチに対して行う．角度 ϕ と θ_2 の間の対応付けも同様に行う．

2.3　パッチ画像変換方法

まず，パッチ画像変換の説明に必要な記号の表記について述べる．出力画像 $\mathbf{v}_\phi$ のある位置のパッチ内の輝度値を並べた列ベクトルを $\boldsymbol{p}_{\phi,j}$ と表す．ただし，j は対応付いたパッチを表し，$j=1,...,P$ である．ただし，P は顔画像中のパッチの数を表す．同様に入力顔画像 $\mathbf{v}_{\theta_1}$ と $\mathbf{v}_{\theta_2}$ のパッチをそれぞれ $\boldsymbol{p}_{\theta_1,j}$ と $\boldsymbol{p}_{\theta_2,j}$ と表す．また，同様にデータセット中の顔画像 $\mathbf{v}^n_{\theta_1}$，$\mathbf{v}^n_{\theta_2}$，$\mathbf{v}^n_\phi$ のパッチをそれぞれ $\boldsymbol{q}^n_{\theta_1,j}$，$\boldsymbol{q}^n_{\theta_2,j}$，$\boldsymbol{q}^n_{\phi,j}$ $(n=1,...,N)$ と表す．パッチサイズは $W \times H$ pixels とする．パッチに関する記号の意味についてまとめた表 2.3 に示す．

本報告で提案する LVTM は画像の局所領域毎に変換するものであり，内海ら [13] が提案した VTM を基にしている．LVTM を用いたパッチ計算は，まずデータセットのパッチ $\boldsymbol{q}^n_{\theta_1,j}$，$\boldsymbol{q}^n_{\theta_2,j}$，$\boldsymbol{q}^n_{\phi,j}$ $(n=1,...,N)$ $(j=1,...,P)$ から変換行列 $\mathbf{T}_j$ を作成し，入力側のパッチ $\boldsymbol{p}_{\theta_1,j}$,$\boldsymbol{p}_{\theta_2,j}$ をその変換行列で変換することで，$\boldsymbol{p}_{\phi,j}$ を得るものである．

変換行列の作成方法は次の通りである．この処理は対応付いたパッチごとの処理であるため，この後の説明ではパッチを区別するための j の添字を省略する．変換行列 $\mathbf{T}$ を用いて入力側のパッチ $\boldsymbol{p}_{\theta_1}$,$\boldsymbol{p}_{\theta_2}$ を変換することにより，$\boldsymbol{p}_\phi$ は

$$\boldsymbol{p}_\phi = \mathbf{T} \begin{bmatrix} \boldsymbol{p}_{\theta_1} \\ \boldsymbol{p}_{\theta_2} \end{bmatrix} \tag{3}$$

で与えられる．変換行列 $\mathbf{T}$ は学習データセットのパッチを用いて以下の式を解くことで求めることができる．

図 6　実験に用いたデータベース中の顔画像の例．

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{q}^1_\phi & \cdots & \boldsymbol{q}^N_\phi \end{bmatrix} = \mathbf{T} \begin{bmatrix} \boldsymbol{q}^1_{\theta_1} & \cdots & \boldsymbol{q}^N_{\theta_1} \\ \boldsymbol{q}^1_{\theta_2} & \cdots & \boldsymbol{q}^N_{\theta_2} \end{bmatrix} \tag{4}$$

詳しくは文献 [13] に譲る．

2.4　顔画像の合成

入力画像中の各パッチを変換し，全ての位置の $\boldsymbol{p}_{\phi,j}$ を得る．そして，図 4 のように，入力パッチと同じ位置に出力パッチを張り付ける．パッチ同士が重複する部分は，画素値の平均を用いて顔画像を合成する．

3.　実　　験

提案手法の有効性を調べるため，変換正面顔画像の識別実験を行った．まず，実験に用いた顔画像データベースについて述べる．そして，実験条件と実験結果について述べる．

3.1　顔画像データベース

実験に用いた顔画像データベースには，(財) ソフトピアジャパンが提供しているものを用いた．これは，被験者一人に対して水平方向に 5° 間隔で 72 方向から撮影したものである（図 6）．ここで，0° を正面とし，角度が正のときは右回り，負のときは左回りに被験者が回転して撮影された顔画像とする．被験者数は 300 人であり，15〜64 歳を 5 歳刻みに分けた各年齢層（10 層）において，男女各 15 名である．照明条件は色温度 3,400K（均一）である．画像の大きさは 640 × 480 pixels であったが，実験では計算時間短縮と背景を除去する目的で，縮小と顔領域のトリミングを行い 32 × 32 pixels の大きさにしたものを使用した．また，全ての顔画像の両目と鼻下の 3 点の位置は人手で与えた．

3.2　実 験 条 件

まず，実験で用いた変換のためのパラメータや条件について説明する．変換の学習データセットに男女各 75 名，計 150 名の顔画像を用いた．提案手法のパッチサイズ $W \times H$ は 16×16 pixels とした．

入力画像には学習データセットとは異なる人物の非正面顔画像のうち，顔の向きを正面から ±10°，±20°，±30°，±40° 回転させたものを用いた．そして，入力枚数が 1, 2, 3 枚の場合について変換を行い，各入力枚数ごとにすべての角度の組み合わせについて変換を行った．この処理を学習データセットとは異なる男女各 75 名，計 150 名に対して行った．

次に，変換した正面顔画像の識別を行った．入力角度ごとに変換された正面顔画像のセットを作り，各セット 150 名の識別を行い，識別率を計算した．人物の識別には，固有空間法を用いた．上記で変換を行った人物と同じ 150 名分の正解正面顔画像から固有空間を作成し，変換正面顔画像と正解正面顔画像の固有空間上での距離が最も小さい人物を識別結果とした．正面顔の推定に用いた人物と同一人物である場合を正解とした．

また，比較手法として，内海ら [13] が提案した VTM を用い

NII-Electronic Library Service

Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers

表 2　提案手法と比較手法の違い.

手法	変換単位	パッチ対応付け	モデル
提案手法	パッチ	有	アフィン
比較手法（円柱モデル [14]）	パッチ	有	円柱
比較手法（パッチ対応付けなし）	パッチ	無	-
比較手法（VTM [13]）	画像全体	-	-

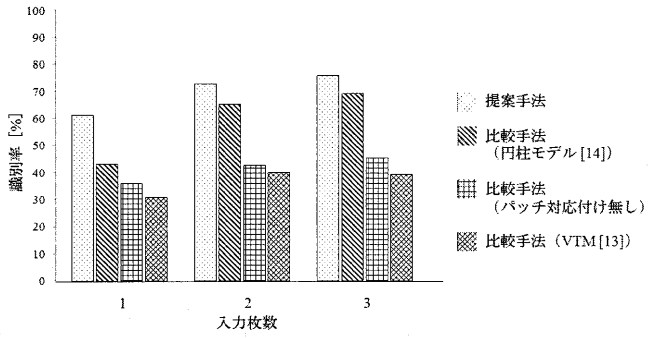

図 7　入力枚数を変えた場合の平均識別率 [%].

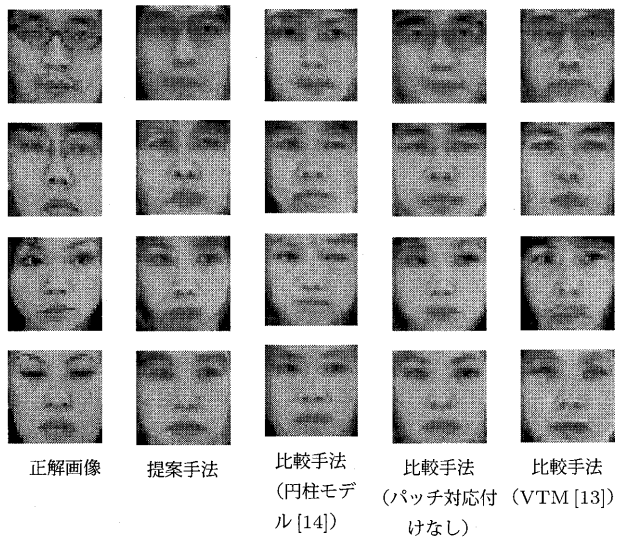

図 8　+30° から変換した正面顔画像.

て画像全体で顔向き変換する手法と，パッチ対応付けを行わずにパッチ単位で顔向き変換する手法，パッチ対応付けに Chai ら [14] が用いた円柱モデルを利用する手法を用いた．以上三つの比較手法で同様の顔向き変換を行い，識別率の比較を行った．提案手法と比較手法の違いをまとめたものを表 2 に示す．

3.3　実験結果

提案手法と比較手法で正面顔に変換し，入力枚数を変えた場合の平均識別率の平均を図 7 に示す．この結果から提案手法がすべての入力枚数において最も高い平均識別率となることが分かった．

また，提案手法と比較手法の変換結果の画像例を図 8 に示す．

4.　考　　察

4.1　識別結果に関する考察

表 7 より，パッチ対応付けを行った手法は，パッチ対応付けを行わない手法や VTM より高い識別率が得られることが確認できた．これはパッチ対応付けを行うことにより，顔向きが異なるパッチ間で類似したテクスチャの対応がとれ，顔の同一部位を含むパッチごとの変換が行われた結果，より精度が高い顔向き変換が行われたためであると考えられる．また，入力画像の枚数を増やすほど識別率が向上することが分かった．これは，入力枚数を増やすことにより識別に必要な情報が増えたためであると考えられる．

表 3　提案手法の入力角度と識別率の関係 [%].

	Input angle [°]							
	−40	−30	−20	−10	+10	+20	+30	+40
識別率 [%]	45	55	68	72	70	70	60	46

表 4　比較手法（円柱モデル [14]）の入力角度と識別率の関係 [%].

	Input angle [°]							
	−40	−30	−20	−10	+10	+20	+30	+40
識別率 [%]	13	20	50	75	77	65	30	14

また，入力画像枚数が 1 枚のときの提案手法の入力角度と識別率の関係を表 3 に示す．同様にパッチ対応付けに円柱モデルを利用した比較手法の入力角度と識別率の関係を表 4 に示す．

表 3，4 より，入力角度が正面から離れるほど，識別率が低下していることが分かる．これは，入力角度が正面から離れるほど正面顔の推定に必要な情報が失われるためであると考えられる．

パッチ対応付けに円柱モデルを用いた比較手法は，入力角度が正面から離れると極端に識別率が低下した．これは，顔には凹凸があり，顔が大きく回転した場合の顔の見えの変化は円柱の回転によるものとは大きく異なるためであると考えられる．一方で提案手法では極端な識別率の低下は見られなかった．

4.2　パッチ対応付けに関する考察

ここで，パッチ対応付け方法の違いを調査するために，入力角度が +40° と +10° の場合に分けて，パッチ対応付けに用いた 2 つの方法による顔の回転について考察する．まず，+40° の場合について考察する．図 9 の (a) は +40° の顔画像である．(b) は円柱モデルを用いて (a) の画像を画素単位で正面向きに変換した結果である．(c) はアフィン変換を用いて (a) の画像を画素単位で正面向きに変換した結果である．(d) は正面顔画像である．(b) と (c) の画像は，両方とも正面画像である (d) とは異なるものの，特に円柱モデルを用いた (b) は右目や右頬の部分に関して，(d) の画像と大きく異なっていることが分かる．このことから，アフィン変換は円柱モデルと比較して，顔の回転に伴う見えの変化の再現性が高いと言える．このため，円柱モデルでは入力角度が正面から離れた場合に正確な顔向き変換が行われず，識別率が急激に落ちたと考えられる．

次に，+10° の場合について考察する．図 10 の (a) は +10° の顔画像である．(b) は円柱モデルを用いて (a) の画像を画素単位で正面向きに変換した結果である．(c) はアフィン変換を用いて (a) の画像を画素単位で正面向きに変換した結果である．(d) は正面顔画像である．(b) と (c) の画像に大きな違いがない

NII-Electronic Library Service

(a) +40°の顔画像　(b) 円柱モデルによる画像変換結果　(c) アフィン変換による画像変換結果　(d) 正面顔画像

図 9　円柱モデルとアフィン変換を用いて顔の回転に伴う顔の見えの変化を再現した例（入力が +40° の場合）

(a) +10°の顔画像　(b) 円柱モデルによる画像変換結果　(c) アフィン変換による画像変換結果　(d) 正面顔画像

図 10　円柱モデルとアフィン変換を用いて顔の回転に伴う顔の見えの変化を再現した例（入力が +10° の場合）

ことから，この場合にはアフィン変換と円柱モデルでの顔の見えの変化の再現性に大きな違いがないことが分かる．そのため，入力角度が正面に近い場合，この二つの手法の識別率の間には大きな差はなかったと考えられる．また，±10° など，入力角度が正面に近い場合，円柱モデルの方が識別率が高い傾向が見られた．これは，入力角度が正面に近い場合，円柱モデルの回転は平行移動に近くなり，円柱モデルの方がアフィン変換よりも顔の回転に伴う見えの変化の再現性が高かったためだと考えられる．

5. まとめ

本報告では，学習型局所画像変換に基づく顔向き変換を提案した．提案手法は多数の人物の様々な角度の顔画像を用いて，入力された非正面顔画像から正面顔画像への変換を行うものである．入力画像を局所画像（パッチ）に分割し，各パッチを角度間と人物間で対応付け，各パッチを変換し，全てのパッチを統合することでより高精度な顔向き変換を目指した．

実験では，実際に様々な方向から撮影された多数の人物の顔画像を用いて，非正面顔画像から正面顔画像に変換し，変換された画像を用いた人物識別の識別率を調査した．入力枚数，入力角度を変えながら実験を行った結果，そのほとんどの場合において，提案手法は比較手法より識別率が高いことが確認できた．この結果から提案手法の有効性を示した．

今後の課題として，顔の特徴点を多く利用しない，学習型顔向き変換に適した，パッチ対応付け方法やパッチ対応付けモデルの検討が挙げられる．

謝辞　日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏に深く感謝する．本研究の一部は，JST 戦略的創造研究推進事業 CREST および科学研究費補助金による．また，本研究では画像処理に MIST ライブラリ（http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/）を使用した．

文　献

[1] M. Turk and A. Pentland, "Face recognition using eigenfaces," Proc. 1991 IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.3, pp.71–86, June 1991.

[2] H. Murase and S. K. Nayar, "Learning and recognition of 3D objects from appearance," Proc. IEEE Workshop on Qualitative Vision, pp.39–50, June 1993.

[3] H. Murase and S. K. Nayar, "Visual learning and recognition of 3-D objects form appearance," Int. J. Computer Vision, vol.14, no.1, pp.5–24, January 1995.

[4] R. Gross, I. Matthews and S. Baker, "Eigen light-fields and face recognition across pose," Proc. 5th IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.1–7, May 2002.

[5] R. Gross, I. Mattews and S. Baker, "Appearance-based face recognition and light-fields," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.26, no.4, pp.449–465, April 2004.

[6] 小松功児，"顔画像からの顔の 3 次元形状の推定とその表情の変更，" 信学論（D-II），vol.J73-D-II, no.5, pp.707–716, May 1990.

[7] D. Jiang, Y. Hu, S. Yan, L. Zhang, H. Zhang and W. Gao, "Efficient 3D reconstruction for face recognition," Pattern Recognition, vol.38, no.6, pp.787–798, June 2005.

[8] 金谷健一，三島等，"未校正カメラによる 2 画像からの 3 次元復元とその信頼性評価，" 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, 42-SIG 6 (2001-6), pp.1–8, June 2001.

[9] V. Blanz and T. Vetter, "A morphable model for the synthesis of 3D faces," Proc. 36th Int. Conf. and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.187–194, August 1999.

[10] V. Blanz and T. Vetter, "Face recognition based on fitting a 3D morphable model," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.25, no.9 pp.1063–1074, September 2003.

[11] V. Blanz, P. Grother, P. Jonathon Phillips and T. Vetter, "Face recognition based on frontal views generated from non-frontal images," Proc. 2005 IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.2, pp.454–461, June 2005.

[12] Md. Al-Amin Bjiouan, V. Ampornaramveth, 武藤伸洋，上野晴樹，"Face detection and facial feature localization for human-machine interface," NII Journal, no.5, pp.25–39, March 2003.

[13] 内海章，山添大丈，鉄谷信二，"人物動作認識のための見え方モデルの動的生成手法の検討，" 情処学研報, SLDM-2003-105, March 2003.

[14] X. Chai, S. Shan, X. Chen and W. Gao, "Locally linear regression for pose-invariant face recognition," IEEE Trans. on Image Processing, vol.16, no.7, pp.1716–1725, July 2007.

NII-Electronic Library Service