

## 表情変化にロバストな 2 次元顔認証アルゴリズムの検討

早坂 昭裕<sup>†</sup> 伊藤 康一<sup>†</sup> 青木 孝文<sup>†</sup> 中島 寛<sup>††</sup> 小林 孝次<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 東北大学 大学院情報科学研究科 〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

<sup>††</sup> 株式会社山武 〒 251-8522 藤沢市川名 1-12-2

E-mail: †hayasaka@aoki.ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 本論文では、表情が変化した場合でも正確に認証することができる高性能な 2 次元顔認証アルゴリズムを提案する。顔認証では、撮影時の環境や顔の変化により認証性能が大きく左右されることが問題となる。特に、表情変化は、2 次元画像および 3 次元構造の双方で認証性能を低下させるひとつの要因となる。この問題に対して、本論文では、(i) 顔画像の回転と拡大縮小を正規化するための前処理と、(ii) 位相限定相関法を用いた高精度な対応点探索を利用して照合スコアを求める照合処理により表情変化に対応する。表情変化のある顔画像を含んだデータベースを用いた認証実験を通して、提案アルゴリズムを利用することにより、極めて高性能な認証が実現可能であることを示す。  
キーワード 顔認証, 表情変化, 位相限定相関法, バイオメトリクス

## A Study of a Robust 2D Face Recognition Algorithm under Varying Facial Expression

Akihiro HAYASAKA<sup>†</sup>, Koichi ITO<sup>†</sup>, Takafumi AOKI<sup>†</sup>, Hiroshi NAKAJIMA<sup>††</sup>, and Koji

KOBAYASHI<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Sciences, Tohoku University  
6-6-05, Aramaki Aza Aoba, Sendai-shi, 980-8579, Japan

<sup>††</sup> Yamatake Corporation 1-12-2, Kawana, Fujisawa-shi, 251-8522, Japan

E-mail: †hayasaka@aoki.ecei.tohoku.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a robust 2D face recognition algorithm under varying facial expression. A major problem in face recognition is that the recognition performance is significantly influenced by the facial expression changes. The facial expression changes decrease the recognition performance in the both cases of using 2D facial images and 3D face data. Addressing this problem, our proposed algorithm consists of two steps: (i) normalize rotation and scale using feature points on face images and (ii) calculate the matching scores using the phase-based sub-pixel correspondence search. Experimental evaluation using 2D face images with expression changes demonstrates efficient recognition performance of the proposed system.

**Key words** face recognition, facial expression change, phase-only correlation, biometrics

### 1. はじめに

近年、アクセスコントロールや入出国管理などの極めて重要度の高い個人認証から、携帯電話やコンピュータへのログインのような利便性を向上させる個人認証まで、鍵・IC カード・パスワードを使った従来の認証に代わり、人間の身体的・行動的特徴を使ったバイオメトリクス認証が注目されている [1]。鍵やパスワードなどを用いた従来の認証は、本人の記憶や所持を伴うため、「なくす」、「忘れる」、「盗まれる」という危険性がある。一方、生体的な特徴を用いたバイオメトリクス認証は、記憶や

所持が不要であり、信頼性・安全性が非常に高い。バイオメトリクス認証に用いられる主な特徴には、指紋・顔・虹彩・筆跡などがある。その中で、利便性と受容性の高さから、顔を利用した認証技術が注目され、多くの成果が報告されている [2]。

現在までに研究されている顔認証技術の多くは、顔の 2 次元画像を利用する手法である。近年では、顔の 3 次元構造を用いた顔認証に関する研究も盛んに行われている [3]。顔認証では、顔画像を撮影するときの環境および顔の変化により大きく認証性能が左右されることが問題となっている。たとえば、撮影のたびに明るさが異なったり、顔の位置が異なったり、表情が異

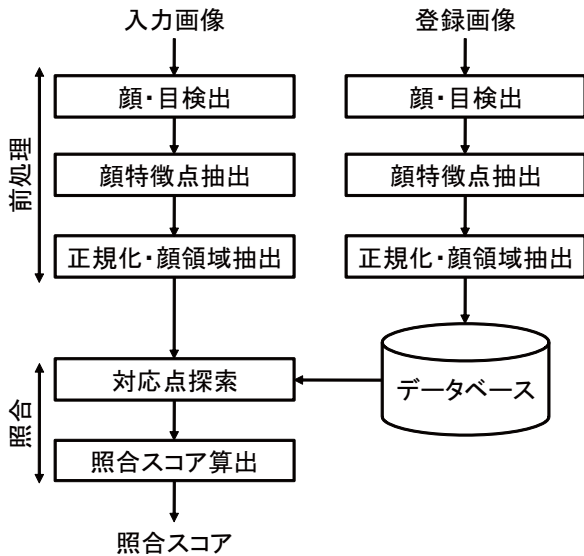


図1 提案アルゴリズムのフロー

なったりすると、同じ人物の顔を撮影したとしても他人と認識される可能性がある。特に、表情変化は2次元画像および3次元構造の双方で認証性能を低下させる原因となるため、表情変化にロバストな認証アルゴリズムが求められている。

これまでに、Appearance Model を利用して2次元画像の表情変化を正規化し認証するアルゴリズムが報告されている[2]。Appearance Model として、Cootes らの提案した Active Appearance Model (AAM) [4] や Wiskott らが提案した Elastic Bunch Graph Matching [5] がよく利用されている。一方、表情変化により変形する3次元構造を補正するために、TPS (Thin-Plate Spline) を用いた変形モデルを利用する認証アルゴリズムが Lu らにより提案されている[6]。また、表情変化にロバストな鼻周辺の3次元構造を利用する認証アルゴリズムが Chang ら[7] および Faltemier ら[8] により報告されている。

これに対し、本論文では、モデルをフィッティングするための繰り返し計算や学習を必要としないアルゴリズムを実現するために、高精度に画像間の対応を求めることができる位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC) を用い、表情変化にロバストな2次元顔認証アルゴリズムを提案する。位相限定相関法を用いた高精度な画像の対応付けアルゴリズムは、Takita らにより提案され、ステレオビジョンなどに応用されている[9]。提案するアルゴリズムは、まず、画像中から顔領域を検出し、顔の特徴点を抽出する。抽出した特徴点を基準として、画像の回転および拡大縮小を正規化する。そして、正規化した画像に対して、位相限定相関法を用いて2つの画像の対応点を求め、対応関係より認証を行う。また、表情変化のある顔画像を含んだデータベースを用いた認証実験を通して、提案手法を利用することにより、表情変化のある顔画像であっても高精度な認証が実現できることを示す。

## 2. 前処理

提案アルゴリズムは、(i) 顔画像の回転と拡大縮小を正規化するための前処理と、(ii) 位相限定相関法を用いて画像間の対応

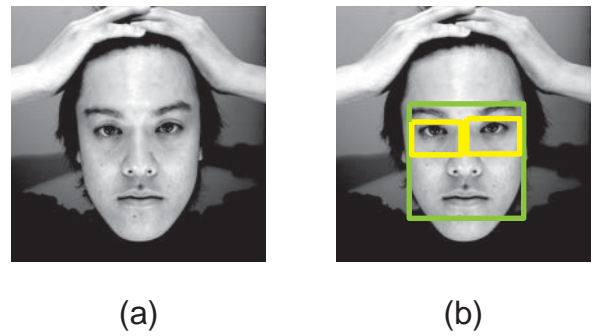


図2 顔および目の検出：(a) 原画像、(b) 検出結果



図3 両目のそれぞれの両端点の検出：(a) 目領域を輝度補正した後に二値化した画像、(b) モルフォロジカルフィルタを適用し、面積が最大の領域のみ残した画像 (マークは検出した特徴点)、(c) 両目の両端点

を求め、照合スコアを求める照合処理から構成される (図1)。ここでは、前処理について述べる。前処理は、(i) 顔・目検出、(ii) 顔特徴点抽出、(iii) 正規化・顔領域抽出の3ステップで行われる。以下では、それぞれの処理について説明する。

### 2.1 顔・目検出

顔の特徴点を正確に抽出するために、あらかじめ顔および目の領域をある程度絞る必要がある。そこで、本論文では、Viola らによって提案されている AdaBoost [10] を利用する。AdaBoost は、逐次的に例題の重みを変化させながら異なる識別器を生成し、それらを組み合わせることでより精度の高い識別器を構成するブースティングと呼ばれる学習アルゴリズムの1つである。AdaBoost を利用した顔検出は、多くの顔検出手法のなかでも検出精度と処理速度の点で非常に優れた手法であるといわれている[2]。まず、AdaBoost を用いて顔領域を検出し、次に、検出した領域の上半分の領域に対して再び AdaBoost を用いて目領域を検出する。上記の処理により検出した顔領域および目領域の例を図2に示す。

### 2.2 顔特徴点抽出

続いて、顔画像から特徴点を抽出する処理について説明する。顔のテクスチャ情報から正確に特徴点として抽出できる場所は、目や鼻、口などくらいである。これに対し、基準となる数点の特徴点の位置関係を正確に求めることができれば、人体計測モデルに基づいて機械的に各部位の位置をおおよそ推定できることが Sohail らにより報告されている[11]。そこで、本論文では、左右の目の両端の点を基準として顔の中にある特徴点を抽出する。

まず、2.1 で抽出した目領域から両目の両端点を求める。左右の目の周辺領域に対して輝度補正を行い、二値化することで目のみをおおよそ抽出する (図3(a))。このままではノイズなどが多く含まれているため、モルフォロジカルフィルタにより収縮および膨張させたあと、面積が最大となった領域のみを残す (図3(b))。その後、残った領域の左右両端の点を検出し、

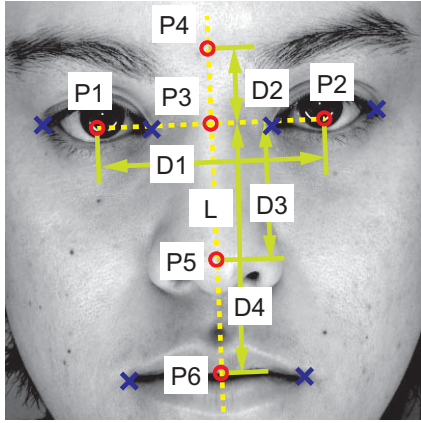


図4 人体計測モデルに基づく顔特徴点

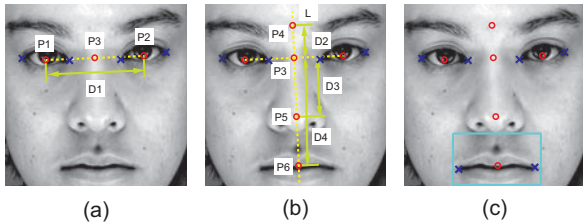


図5 顔特徴点の検出：(a) 目の中央および両目の中間点，(b) 眉間・鼻先・口の中心点，(c) 口の両端点

目の両端点とする (図 3 (c), (d)) . 両目の両端点を検出できれば，左右の目それぞれの中央点を求めることができ，中央点間の距離を基準として，他の顔特徴点 (図 4 を参照) の位置を以下の手順で求めることができる。

**Step 1:** 検出した両目の両端点の中心点をそれぞれ目の中央点  $P1$  および  $P2$  とし， $P1$  と  $P2$  の中点を両目の中間点  $P3$  とする．また， $P1$  と  $P2$  の間の距離を  $D1$  とする (図 5 (a)) .  
**Step 2:**  $P1$  と  $P2$  を結ぶ線分の垂直二等分線を  $L$  とし， $L$  上で  $P3$  からの距離が  $D2$  となる点を眉間の点  $P4$  とする．同様に， $L$  上で  $P3$  からの距離が  $D3$  および  $D4$  となる点をそれぞれ鼻先の点  $P5$ ，口の中央点  $P6$  とする．ここで， $D2, D3, D4$  は，それぞれ

$$D2 = 0.33 \times D1, \quad D3 = 0.60 \times D1, \quad D4 = 1.10 \times D1$$

とする．なお， $P4$  は  $P3$  よりも上側に， $P5$  および  $P6$  は  $P3$  よりも下側になるようにする (図 5 (b)) .

**Step 3:**  $P6$  を基準としてウィンドウを開き，得られた領域に対して目の両端点を抽出した手法と同様の処理により，口の両端点を検出する (図 5 (c)) .

以上の処理により，左右の目の両端の特徴点を基準として顔の主要な 12 個の特徴点を抽出することができる。

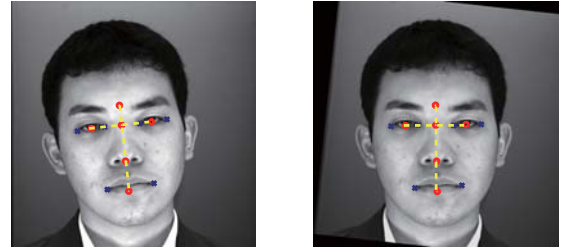
### 2.3 正規化・顔領域抽出

顔画像は，撮影時の姿勢やカメラとの距離などによって，撮影のたびに回転や拡大縮小が異なる．正確な照合のために，顔の特徴点を利用して画像の回転および拡大縮小を正規化する．

まず，画像の回転を以下の手順で正規化する．

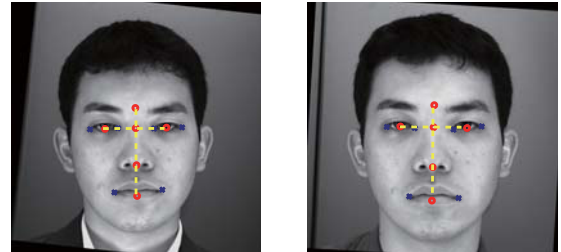
**Step 1:** 抽出した特徴点に基づいて  $P1$  と  $P2$  を結ぶ直線  $L'$ ，および  $P4$  と  $P6$  を結ぶ直線  $L$  を導出する．

**Step 2:** 導出した直線  $L$  および  $L'$  がそれぞれ画像座標の  $y$

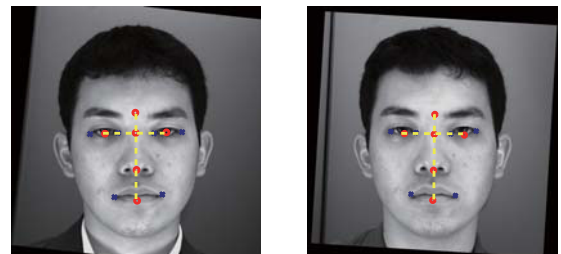


(a) (b)

図6 回転の正規化：(a) 原画像，(b) 正規化画像



(a)



(b)

図7 拡大縮小の正規化：(a) 参照画像および入力画像，(b) 参照画像と正規化した入力画像

軸， $x$  軸と平行になるように画像の回転角度  $\phi$  を算出する．

**Step 3:** 算出した回転角度  $\phi$  に基づき，回転中心を  $P5$  として画像を回転させて回転を正規化する．

以上の処理で回転を正規化した画像を図 6 に示す．

次に，画像の拡大縮小を以下の手順で正規化する．

**Step 1:** 左右の目の中心点  $P1$  と  $P2$  を結ぶ線分の長さを参照画像と入力画像の両方について算出し，それぞれ  $D1_{ref}$ ， $D1_{input}$  とする．

**Step 2:** 拡大縮小率  $S$  を  $D1_{ref}/D1_{input}$  とし，入力画像を拡大または縮小させる．

ここで， $D1_{ref}$  を固定値として与えることにより，常に一定の大きさに正規化することができる．以上の手順で拡大縮小を正規化した画像を図 7 に示す．上述した回転および拡大縮小の正規化は，実際は別々に行うのではなく，入力画像が与えられたときに同時に行う．

最後に，照合処理のために正確な顔領域を求める．先の処理で，AdaBoost を利用した顔検出手法により顔のおおよその位置は検出できているが，実際は正確な顔領域が得られてはいないので，同一人物の顔画像でも画像によって検出される位置や大きさにばらつきがある．そこで，本論文では，抽出した顔の

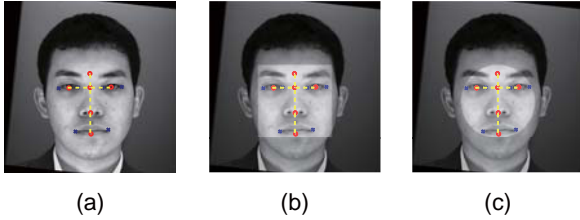


図 8 顔領域の抽出：(a) 正規化画像，(b) 正方形で指定した顔領域，(c) 円形で指定した顔領域

特徴点を利用して、顔領域を正確に決定する。抽出した 12 個の特徴点は、目や鼻、口など顔の主要な部分の位置を表す基準点として考えることができる。そのため、得られたすべての特徴点を包含するような領域を選択すれば、顔の主要な部分を含む正確な顔領域を得ることができると考えられる。本論文では、顔領域として正方形および円形を利用する (図 8)。ここで得られる顔領域は、次の照合処理において使用する領域となる。正方形と円形で異なる点は、顔の輪郭部分が多少含まれるか含まれないかという点であり、性能評価実験を通してそれぞれの識別性能の違いを評価する。

### 3. 照合処理

続いて、回転および拡大縮小を正規化した画像を照合する処理について述べる。本論文では、顔の表情変化を吸収しつつ、学習処理の必要ない照合を行うために、Takita らが提案している位相限定相関法に基づく対応点探索 [9] を利用する。表情変化は、顔表面のテクスチャの変形により生じるひずみと考えられる。画像間のひずみは、複雑な変形であるが、局所領域では平行移動に近似することができる。位相限定相関法に基づく対応点探索は、局所的な画像ブロック間の平行移動を高精度に求めることで、画像間の高精度な対応付けを行う。そのため、表情が変化したとしても、高精度に対応づけることが可能である。

以下では、まず、位相限定相関法の基本原理および対応点探索について概説し、次に照合アルゴリズムについて述べる。

#### 3.1 位相限定相関法

画像サイズ  $N_1 \times N_2$  ピクセルの 2 つの画像ブロックを  $f(n_1, n_2)$ ,  $g(n_1, n_2)$  とする。定式化の便宜上、離散空間のインデックスを  $n_1 = -M_1, \dots, M_1$ ,  $n_2 = -M_2, \dots, M_2$  とし、画像サイズを  $N_1 = 2M_1 + 1$  ピクセル,  $N_2 = 2M_2 + 1$  ピクセルとする。なお、ここでは説明を簡単にするために離散空間のインデックスを正負対称にとり、かつ 2 次元画像信号の大きさ  $N_1$ ,  $N_2$  を奇数としているが、これは必須ではない。すなわち、通常よく用いられるように非負のインデックスを用い、 $N_1$ ,  $N_2$  を任意の正の整数に設定するように一般化することが可能である。

画像  $f(n_1, n_2)$  および  $g(n_1, n_2)$  の 2 次元離散フーリエ変換 (2D DFT) をそれぞれ  $F(k_1, k_2)$ ,  $G(k_1, k_2)$  とし次式で与える。

$$\begin{aligned} F(k_1, k_2) &= \sum_{n_1 n_2} f(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_F(k_1, k_2) e^{j\theta_F(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} G(k_1, k_2) &= \sum_{n_1 n_2} g(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_G(k_1, k_2) e^{j\theta_G(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $k_1 = -M_1, \dots, M_1$ ,  $k_2 = -M_2, \dots, M_2$ ,  $W_{N_1} = e^{-j\frac{2\pi}{N_1}}$ ,  $W_{N_2} = e^{-j\frac{2\pi}{N_2}}$  であり、 $\sum_{n_1 n_2}$  は、 $\sum_{n_1=-M_1}^{M_1} \sum_{n_2=-M_2}^{M_2}$  である。 $A_F(k_1, k_2)$ ,  $A_G(k_1, k_2)$  は振幅スペクトルであり、 $\theta_F(k_1, k_2)$ ,  $\theta_G(k_1, k_2)$  は位相スペクトルである。このとき、 $F(k_1, k_2)$  と  $G(k_1, k_2)$  の正規化相互パワースペクトルを次式で与える。

$$\begin{aligned} R(k_1, k_2) &= \frac{F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}}{|F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}|} \\ &= e^{j\theta(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで  $\overline{G(k_1, k_2)}$  は  $G(k_1, k_2)$  の複素共役を示す。また、 $\theta(k_1, k_2) = \theta_F(k_1, k_2) - \theta_G(k_1, k_2)$  である。

POC 関数  $r(n_1, n_2)$  は  $R(k_1, k_2)$  の 2 次元逆離散フーリエ変換 (2D IDFT) であり、次式で定義する。

$$\begin{aligned} r(n_1, n_2) &= \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1 k_2} R(k_1, k_2) W_{N_1}^{-k_1 n_1} W_{N_2}^{-k_2 n_2} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $\sum_{k_1 k_2}$  は、 $\sum_{k_1=-M_1}^{M_1} \sum_{k_2=-M_2}^{M_2}$  である。POC 関数は、デルタ関数に近いきわめて鋭いピークを有する。この相関ピークの座標を求めることで、ピクセル精度の位置ずれを検出することができる。また、相関ピークの高さを求めることで、画像間の類似度を評価することができる。この特長以外にも、POC 関数は、画像間の位置ずれ (平行移動) や明るさの変化、加算ノイズに対してロバストであることが Ito らによって報告されている [12]。

次に、画像  $g(n_1, n_2)$  が  $f(n_1, n_2)$  を  $(\delta_1, \delta_2)$  だけ微小に平行移動させた画像である場合を考える。ここで、 $\delta_1$  および  $\delta_2$  は、それぞれ  $n_1$  および  $n_2$  方向のサブピクセルレベルの移動量を表している。このとき、 $f(n_1, n_2)$  と  $g(n_1, n_2)$  の POC 関数は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} r(n_1, n_2) &\simeq \frac{\alpha}{N_1 N_2} \frac{\sin\{\frac{\pi}{N_1}(n_1 + \delta_1)\}}{\sin\{\frac{\pi}{N_1}(n_1 + \delta_1)\}} \frac{\sin\{\frac{\pi}{N_2}(n_2 + \delta_2)\}}{\sin\{\frac{\pi}{N_2}(n_2 + \delta_2)\}} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $\alpha = 1$  である。上式は、画像が  $(\delta_1, \delta_2)$  だけ微小に平行移動した場合の POC 関数の一般形を表している。 $\alpha$  は、相関ピークの高さを表すために導入されたパラメータである。画像に対して無相関なノイズが加わると  $\alpha$  の値が減少するため、実際には  $\alpha \leq 1$  となる。POC 関数を用いてサブピクセルの高精度な平行移動量を推定するためには、Takita らにより提案されている (i) 離散データで得られた POC 関数への相関ピークモデルのフィッティング、(ii) 画像端での信号の不連続性を解消するための窓関数の適用、(iii) エイリアシングやノイズの影響を抑制するためのスペクトル重み付けを用いる [9]。

#### 3.2 位相限定相関法に基づく対応点探索

位相限定相関法に基づく対応点探索は、高精度に画像間の対

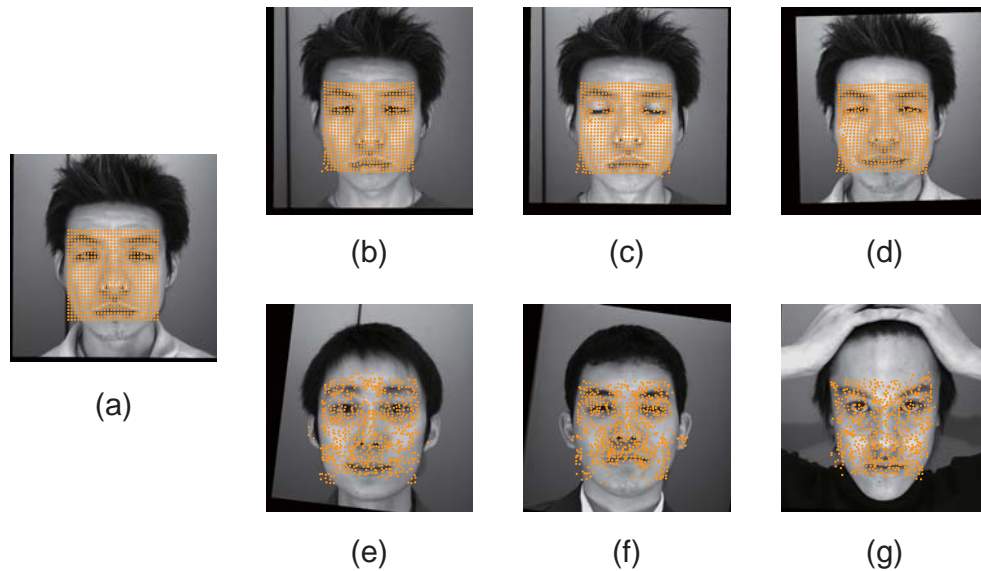


図9 位相限定相関法を用いた対応点探索結果：(a) 参照画像，(b) 入力画像（本人・無表情），(c) 入力画像（本人・目を閉じた状態），(d) 入力画像（本人・笑顔），(e),(f),(g) 入力画像（他人）

応点を推定するために，(i) 位相限定相関法を用いた平行移動量推定手法による局所ブロック画像のブロックマッチングと (ii) 画像ピラミッドによる粗密探索を用いている．Takita らの精度評価実験によると， $32 \times 32$  画素の画像ブロックに対して，0.05 画素の精度で対応点間の移動量を求めることが可能である [9]．本手法の詳細については，文献 [9] を参考にされたい．

### 3.3 表情変化にロバストな照合

上述した位相限定相関法に基づく対応点探索手法を利用した表情変化にロバストな照合について述べる．まず，正規化された登録画像の顔領域の中に基準点を配置し，基準点に対する入力画像の対応点を求める．ここで，基準点は 16 画素おきに配置し，階層探索の階層数を 4 とし，ブロックマッチングのブロックサイズを  $32 \times 32$  とする．登録画像に対して，本人と他人の顔画像を入力し，対応点探索を行った結果を図 9 に示す．図 9 (a) が参照画像であり，(b)~(d) が無表情および表情変化のある本人の画像，(e)~(g) が他人の画像である．図 9 から，同一人物である場合は，表情変化があったとしても正確に対応点が求まっていることが確認できる．一方，他人の場合は，探索した対応点が乱れた位置に分布しており，対応付けに失敗していることが確認できる．

続いて，得られた対応点群から照合スコアを算出する．本論文では，照合スコアとして以下の 4 通りを検討する．

- ブロックマッチングの結果より得られる POC 関数のピーク値を平均した値（ピーク値平均）
- 対応点の信頼性を POC 関数のピーク値で判定することで得られる高信頼な対応点の数（高信頼点数）
- 得られた対応点に応じて局所画像ブロックを再度切り出し，それぞれの画像ブロック間の POC 関数を求め，それらの POC 関数群から求めた平均 POC 関数の最大ピーク値（平均 POC ピーク）
- 得られた対応点に応じて局所画像ブロックを再度切り

出し，それぞれの画像ブロック間の BLPOC (Band-Limited Phase-Only Correlation) 関数 [12] を求め，それらの POC 関数群から求めた平均 BLPOC 関数の最大ピーク値（平均 BLPOC ピーク）

最終的に，算出した照合スコアに応じて本人であるか他人であるかを判定する．

## 4. 実験・考察

本論文では，24 人の被験者に対して異なるタイミングで 1 人につき 8 回撮影することにより得た計 192 組（24 人  $\times$  8 回）の顔画像データベースを使用する．8 回の撮影のうち，1 回は目を閉じて撮影し，2 回は少し微笑んだ状態で撮影している．残りの 5 回は平常時の状態（無表情）で撮影した画像である（図 10）．前髪がやや長い被験者に対しては，前髪で目や眉毛が隠れない程度に前髪をよけた上で撮影している．本人同士の照合の組み合わせは 672 組（24 人  $\times$   ${}_{8}C_2$  通り），他人同士の照合の組み合わせは 17,664 組（ ${}_{192}C_2 - 672$  通り）であり，合計で 18,336 組に対して認証実験を行う．

認証精度の評価として，今回はバイオメトリクス認証の性能評価手法として一般的な ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線を用いる．ROC 曲線とは，横軸に本人拒否率 (False Rejection Rate: FRR)，縦軸に他人受入率 (False Acceptance Rate: FAR) をとった曲線であり，この曲線が原点に近くなればなるほど認証性能が高いことを示す．また，本人拒否率と他人受入率が等しくなったときの値を EER (Equal Error Rate) といい，性能評価の指標としてよく用いられる．EER が小さいほど認証性能が高いということを表している．

本実験では，方形および円形で顔領域を指定した場合のそれぞれについて，3.3 で述べた 4 通りで算出した照合スコアにより性能を評価する．図 11 (a) および (b) に実験結果より得られた ROC 曲線を示す．顔領域の指定が方形でも円形でも，4

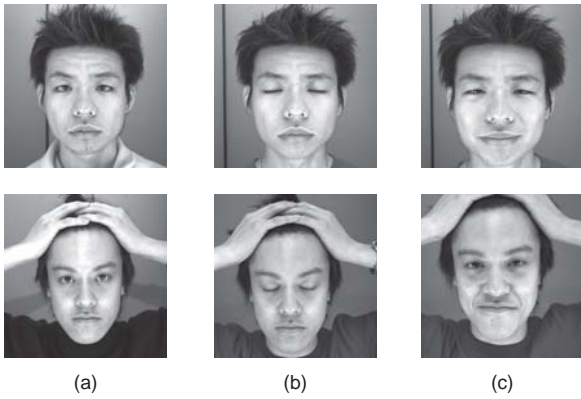


図 10 実験に使用したデータベースの画像例：(a) 平常時（無表情）の画像，(b) 目を閉じた状態の画像，(c) 微笑んだ状態の画像

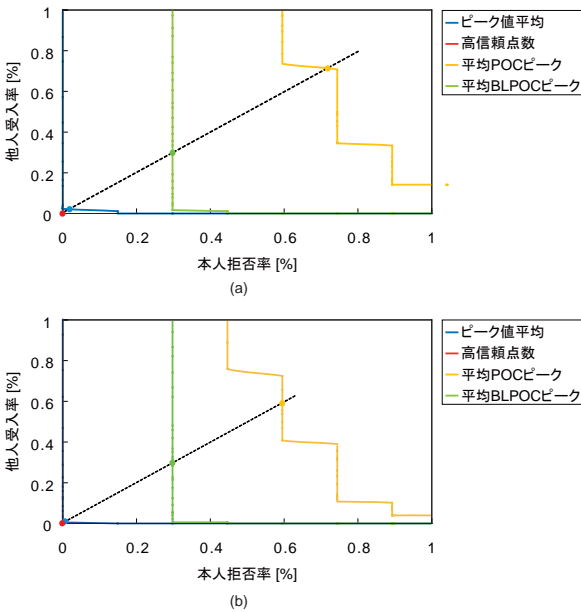


図 11 ROC 曲線：(a) 方形領域，(b) 円形領域

通りの方法で評価した認証精度の違いには同様の傾向がある。各手法における EER を表 1 にまとめる。参考として最下段に、Uchida ら [13] が提案しているステレオビジョンに基づく受動型 3 次元顔認証アルゴリズムを実装し、その性能を示す。方形でも円形でも、高信頼な対応点の数を用いた場合、100% の精度で本人と他人を識別することができる。方形領域よりも円形領域の方が EER が低く、認証性能が高いということも確認できる。顔の輪郭や背景が照合領域に含まれてしまったため、誤対応点が増えてしまったことが原因として考えられる。また、提案アルゴリズムは、顔全体の 3 次元構造を使って認証した場合よりも性能が高い。3 次元構造を用いた場合、顔の向きおよび位置などにロバストな認証が可能であるが、表情が変化し、顔の構造が異なってしまうことにより大幅に性能が低下してしまう。そのために、表情変化に対応している提案アルゴリズムの方が高性能である結果となった。

## 5. まとめ

本論文では、顔の表情変化にロバストな 2 次元顔認証アルゴリズムを提案した。提案アルゴリズムは、(i) 顔画像の回転と

表 1 各手法の EER

	方形領域 [%]	円形領域 [%]
ピーク値平均	0.021	0.005
高信頼点数	0	0
平均 POC ピーク	0.713	0.595
平均 BLPOC ピーク	0.298	0.298
ICP を用いた 3 次元顔認証 [13]	—	10.565

拡大縮小を正規化するための前処理と、(ii) 位相限定相関法を用いて画像間の対応を求め、照合スコアを求める照合処理により表情変化に対応した、表情変化のある顔画像を含んだデータベースを使った認証実験を通して、提案手法を利用することにより、表情変化のある顔画像であっても高精度な認証が実現できることを示した。

## 文 献

- [1] A. K. Jain, P. Flynn and A. A. Ross: “Handbook of Biometrics”, Springer (2007).
- [2] S. Z. Li and A. K. Jain: “Handbook of Face Recognition”, Springer (2005).
- [3] A. Scheenstra, A. Ruifrok and R. Velkamp: “A survey of 3D face recognition methods”, Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication (AVBPA 2005), **3546**, pp. 891–899 (2005).
- [4] T. F. Cootes, G. J. Edwards and C. J. Taylor: “Active appearance models”, Proc. Europ. Conf. Computer Vision, **2**, pp. 484–498 (1998).
- [5] L. Wiskott, J.-M. Fellous, N. Krüger and C. von der Malsburg: “Face recognition by elastic bunch graph matching”, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., **19**, 7, pp. 775–779 (1997).
- [6] X. Lu and A. K. Jain: “Deformation modeling for robust 3D face matching”, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. (2008).
- [7] K. I. Chang, K. W. Bowyer and P. J. Flynn: “Multiple nose region matching for 3D face recognition under varying facial expression”, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., **28**, 10, pp. 1695–1700 (2006).
- [8] T. C. Faltemier, K. W. Bowyer and P. J. Flynn: “A region ensemble for 3-D face recognition”, IEEE Trans. Information Forensics and Security, **3**, 1, pp. 62–73 (2008).
- [9] K. Takita, M. A. Muquit, T. Aoki and T. Higuchi: “A sub-pixel correspondence search technique for computer vision applications”, IEICE Trans. on Fundamentals, **E87-A**, 8, pp. 1913–1923 (2004).
- [10] P. Viola and M. Jones: “Robust real time object detection”, Proc. of 2nd Int. Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision – Modeling, Learning, Computing and Sampling, pp. 1–25 (2001).
- [11] A. S. M. Sohail and P. Bhattacharya: “Detection of facial feature points using anthropometric face model”, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems, pp. 656–665 (2006).
- [12] K. Ito, H. Nakajima, K. Kobayashi, T. Aoki and T. Higuchi: “A fingerprint matching algorithm using phase-only correlation”, IEICE Trans. Fundamentals, **E87-A**, 3, pp. 682–691 (2004).
- [13] N. Uchida, T. Shibahara, T. Aoki, H. Nakajima and K. Kobayashi: “3D face recognition using passive stereo vision”, Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing 2005, pp. II-950–II-953 (2005).