

## 2次元 / 3次元顔認証アルゴリズムの組み合わせに関する検討 A Study of Combination of 2D/3D Face Recognition Algorithms

伊藤 康一\*      早坂 昭裕\*      青木 孝文\*      中島 寛†  
Koichi ITO      Akihiro HAYASAKA      Takafumi AOKI      Hiroshi NAKAJIMA

小林 孝次†  
Koji KOBAYASHI

あらまし 本論文では、2次元および3次元顔認証アルゴリズムの組み合わせによる高性能化を検討する。2次元顔認証アルゴリズムは、ブロックマッチングを用いることで表情変化にロバストな認証が可能であるが、顔の向き変化などにより性能が低下する。一方で、3次元顔認証アルゴリズムは、顔の向き変化にロバストな認証が可能であるが、表情変化により構造が変化すると性能が低下する。以上より、2次元および3次元顔認証アルゴリズムは、お互いに相補的な役割を果たしていると考えられる。本論文では、さまざまな状況で撮影した顔データを用いた性能評価実験を通して、2次元および3次元顔認証アルゴリズムの組み合わせにより性能が向上することを示す。

キーワード 2次元顔認証, 3次元顔認証, 組み合わせ, 位相限定相関法, バイオメトリクス

### 1 はじめに

ユビキタス情報社会において、セキュリティは、最も重要なキーワードの1つであり、信頼性が高く、利便性に優れた個人認証システムが必要とされている。現在までに一般的に用いられている個人認証システムは、パスワード、PIN (Personal Identification Number)、鍵などのように記憶や所持を必要とするものである。そのため、「忘れる」、「盗まれる」、「なくす」という危険性がある。これらの問題に対し、記憶や所持が不要で、さらに時間が経っても変化することのない究極的な認証方法として、個人の身体的・行動的特徴をそのまま認証情報として利用するバイオメトリクス認証技術が注目されている [1]。個人認証システムにおいて利用される身体的・行動的特徴には、指紋・虹彩・顔・掌紋・筆跡などがある。その中で、顔を用いた個人認証は、利便性と受容性が高いことから注目されている [2]。

現在までに研究されている顔認証技術の多くは、カメラで撮影した顔画像を用いる2次元顔認証である。近年では、3次元スキャナで取得した3次元データを用い

る3次元顔認証に関する研究も盛んに行われている。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。2次元顔認証の場合は、明るさの変化、顔の位置の変化などで認証性能が大きく低下するが、表情変化を吸収するモデルを用いることで、ある程度の表情変化に対応した認証が可能である [3, 4]。一方、3次元顔認証の場合は、表情変化により大きく認証性能が低下するが、明るさの変化、顔の位置や向きの変化にロバストな認証が可能である [5]。

これに対し、筆者らは、これまでに位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC) を用いた2次元顔認証 [6] および3次元顔認証 [7] を提案している。位相限定相関法を用いたサブピクセル対応点探索を用いた2次元顔認証アルゴリズムは、顔画像の局所領域間の高精度な対応付けにより、表情変化にロバストな認証を実現している。また、3次元顔認証アルゴリズムは、顔全体の構造を認証に利用するのではなく、表情が変化しても構造の変わらない部分領域の3次元構造を利用することで、表情変化にロバストな認証を実現している。前述したように、2次元顔認証と3次元顔認証は、互いに相補

\* 東北大学 大学院情報科学研究科, 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字 青葉 6-6-05, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, 6-6-05, Aramaki Aza Aoba, Sendai-shi 980-8579, Japan (ito@aoki.ecei.tohoku.ac.jp)

† 株式会社山武, 〒 251-8522 藤沢市川名 1-12-2, Yamatake Corporation, 1-12-2, Kawana, Fujisawa-shi 251-8522, Japan

的な関係にある可能性が高いため、アルゴリズムレベルもしくは照合スコアレベルにおいて双方を組み合わせることで、認証性能の向上が期待できる。そこで、本論文では、位相限定相関法を用いた 2 次元および 3 次元顔認証アルゴリズムの組み合わせを検討する。表情や向きを変化させた顔データを用いた性能評価実験を通して、2 次元および 3 次元顔認証アルゴリズムの組み合わせの有効性を実証する。

## 2 位相限定相関法

本論文で用いる位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC) の基本的な定義と、位相限定相関法を用いた高精度画像マッチングについて述べる。

### 2.1 位相限定相関関数

大きさ  $N_1 \times N_2$  画素の画像を  $f(n_1, n_2)$  と  $g(n_1, n_2)$  とする。ただし、定式化の便宜上、離散空間のインデックスを  $n_1 = -M_1, \dots, M_1$  ( $M_1 > 0$ ) および  $n_2 = -M_2, \dots, M_2$  ( $M_2 > 0$ ) とし、画像の大きさを  $N_1 = 2M_1 + 1$  画素および  $N_2 = 2M_2 + 1$  画素とする。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、2 次元画像信号の大きさ  $N_1$  と  $N_2$  を奇数にしているが、これは必須ではない。通常よく用いられるように非負のインデックスを用い、 $N_1$  と  $N_2$  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  $f(n_1, n_2)$  の 2 次元離散フーリエ変換 (2 次元 DFT) を  $F(k_1, k_2)$  として次式で与える。

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

ただし、 $W_{N_1} = e^{-j\frac{2\pi}{N_1}}$ 、 $W_{N_2} = e^{-j\frac{2\pi}{N_2}}$  であり、 $\sum_{n_1, n_2}$  は  $\sum_{n_1=-M_1}^{M_1} \sum_{n_2=-M_2}^{M_2}$  を意味する。ここで、 $A_F(k_1, k_2)$  は画像の振幅成分、 $\theta_F(k_1, k_2)$  は画像の位相成分である。 $g(n_1, n_2)$  についても同様に計算する。一般性を失うことなく離散周波数のインデックスを  $k_1 = -M_1, \dots, M_1$ 、 $k_2 = -M_2, \dots, M_2$  とすることができる。 $F(k_1, k_2)$  と  $G(k_1, k_2)$  の正規化相互パワースペクトル  $R_{FG}(k_1, k_2)$  を次のように定義する。

$$\begin{aligned} R_{FG}(k_1, k_2) &= \frac{F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}}{|F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}|} \\ &= e^{j\theta(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $\overline{G(k_1, k_2)}$  は  $G(k_1, k_2)$  の複素共役である。また、 $\theta(k_1, k_2)$  は、 $\theta_F(k_1, k_2) - \theta_G(k_1, k_2)$  で与えられる。POC 関数  $r_{fg}(n_1, n_2)$  は、 $R_{FG}(k_1, k_2)$  の 2 次元逆離散

フーリエ変換 (2 次元 IDFT) として、次のように表される。

$$r_{fg}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1, k_2} R_{FG}(k_1, k_2) W_{N_1}^{-k_1 n_1} W_{N_2}^{-k_2 n_2} \quad (3)$$

ここで、 $\sum_{k_1, k_2}$  は  $\sum_{k_1=-M_1}^{M_1} \sum_{k_2=-M_2}^{M_2}$  を意味する。類似した 2 枚の画像間の POC 関数  $r_{fg}(n_1, n_2)$  は鋭いピークを示す。一方、異なる 2 枚の画像間では、全くピークが現れない。POC 関数のピークの高さは、画像間の類似度を調べる指標となる。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報告されている [8]。

### 2.2 位相限定相関法を用いた高精度画像マッチング

以下では、位相限定相関法を用いた高精度画像マッチングの概要について述べる。詳しくは、基本性能についてまとめている文献 [9] を参考にされたい。

#### サブピクセルレベルの平行移動量推定

位相限定相関法を用いて高精度に平行移動量を推定するためには、(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が重要となる [10]。

#### サブピクセル対応点探索

上で述べた平行移動量推定手法を局所的な画像ブロックのマッチングに適用し、画像ピラミッドによる粗密探索と組み合わせることにより、2 枚の画像の対応点をサブピクセル精度で検出することができる。本手法の詳細については、文献 [11] を参考にされたい。

## 3 顔認証アルゴリズム

本論文で提案するアルゴリズムについて述べる。図 1 に提案アルゴリズムの処理フローを示す。提案アルゴリズムでは、2 次元画像および 3 次元データを用いるため、図 2 のステレオビジョンシステムを用いて撮影したステレオ画像を入力画像として用いる。提案アルゴリズムは、(i) 2 次元顔認証と 3 次元顔認証において共通な前処理、(ii) 2 次元顔認証、(iii) 3 次元顔認証、(iv) スコア融合の 4 ステップで構成される。以下では、ステレオビジョンシステムおよび各処理ステップについて述べる。

### 3.1 ステレオビジョンシステム

提案アルゴリズムの入力装置として用いるステレオビジョンシステムについて述べる。本システムの大きな特長は、受動型 3 次元計測法であるステレオビジョンを用

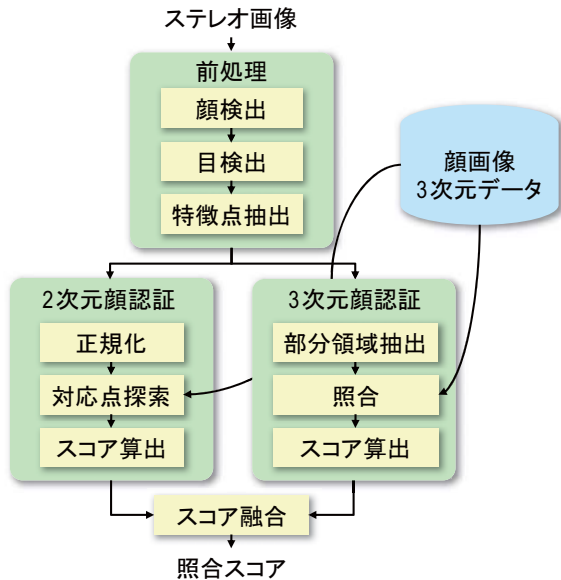


図 1: 提案アルゴリズムのフロー

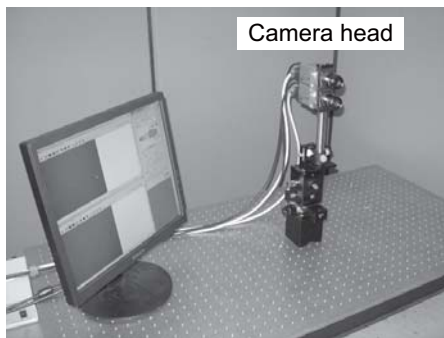


図 2: ステレオビジョンシステム

いて顔の 3 次元計測ができる点である。これまで報告されている 3 次元顔認証システムの多くは、レーザー光やパターン光を照射する能動型 3 次元スキャナを利用している。能動型は、物体の高精度な 3 次元データを容易に取得できるという利点があるが、安全性や利用環境の制限などの問題がある。それに対して、受動型 3 次元計測法は、これらのような問題が生じないため、人体計測、特に顔の計測に適した 3 次元計測法である。しかし、一般的に受動型 3 次元計測法は能動型 3 次元計測法と比べて計測精度が低いいため、受動型 3 次元計測法を利用する場合は、その計測精度の問題を解決しなければならない。これに対し、位相限定相関法に基づくサブピクセル対応点探索を用いることで、受動型でありながら能動型と同等の計測精度を有するステレオビジョンシステムを実現している [7]。また、撮影したステレオ画像は、そのまま 2 次元顔認証に用いることが可能である。

### 3.2 前処理

2 次元および 3 次元顔認証の両方で必要となる前処理は、(i) 顔検出、(ii) 目検出、(iii) 特徴点抽出の 3 ステッ

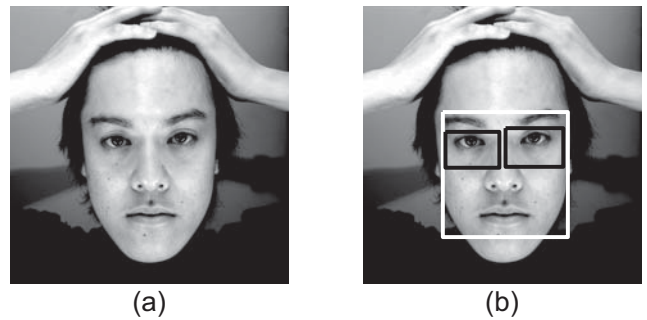


図 3: 顔および目の検出: (a) 原画像, (b) 検出結果

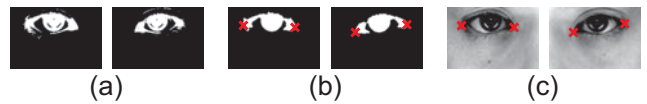


図 4: 目の両端点の検出: (a) 目領域を輝度補正した後  
に二値化した画像, (b) モルフォロジカルフィルタを適  
用し、面積が最大の領域のみ残した画像 (マークは検出  
した特徴点), (c) 両目の両端点

プで構成される。

#### 顔および目検出

顔の特徴点を正確に抽出するために、およその顔および目の領域を決定する必要がある。そこで、Viola によって提案されている AdaBoost [12] を利用する。まず、顔検出用の 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、目検出用の 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 3 に示す。

#### 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。一般に、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、鼻、口などに限られる。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推定することができる [13]。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、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 4 (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 4 (b))。その後、残った領域の左右両端の点を検出し、目の両端点とする (図 4 (c))。

両目の両端点が検出されれば、左右の目それぞれの中央点間の距離を基準として、他の顔特徴点 (図 5 を参照) の位置を求めることができる。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

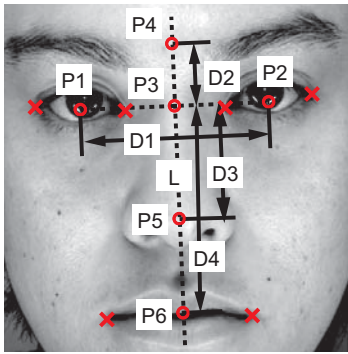


図 5: 人体計測モデルに基づく顔特徴点

$P2$  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． $P1$  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． $P6$  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．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．

### 3.3 2次元顔認証

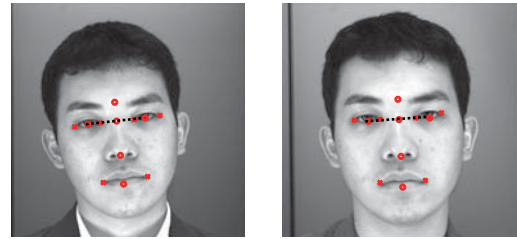
2次元顔認証では，前処理で得られた特徴点のうち，目の中央点である  $P1$  と  $P2$  を用いて顔画像の拡大縮小と回転を一定に正規化する．正規化後には，表情変化などによる局所的な平行移動が画像変形のほとんどを占めているため，位相限定相関法を用いたサブピクセル対応点探索を用いることで表情変化にロバストなマッチングが可能である．最後に，得られた対応点に基づいて照合スコアを算出する．以下では，各処理の詳細について説明する．

#### 正規化

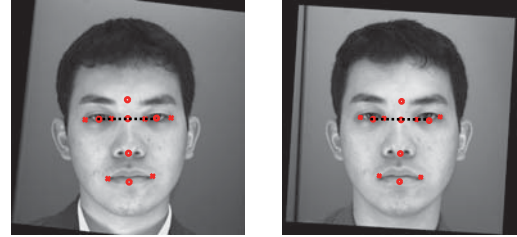
まず，目の中央点  $P1$  と  $P2$  の傾きおよび距離を求める．次に，得られた傾きが画像の水平方向と等しくなるように画像を回転させる．また，得られた距離が設定した長さになるように，画像を拡大縮小する．以上の処理により，顔画像の回転と拡大縮小を正規化することができる．図 6 に顔画像を正規化した例を示す．

#### 対応点探索

正規化した画像間の対応点を探索する前に，まず，探索領域を設定する．ここでは，前処理で得られた特徴点



(a)



(b)

図 6: 顔画像の正規化：(a) 正規化前の顔画像，(b) 正規化後の顔画像

がすべて含まれる方形領域を探索領域とする．設定した探索領域に対して，位相限定相関法を用いたサブピクセル対応点探索により，画像間の対応点を求める．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  $32 \times 32$  画素とする．図 7 に対応点探索の結果を示す．同一人物である場合は，表情変化があっても正確に対応点が得られているが，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．

#### スコア算出

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，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（平均ピーク値）を用いる．

### 3.4 3次元顔認証

3次元顔認証では，まず，表情変化にロバストな部分領域を抽出し，抽出した領域の 3次元データを復元する．次に，ICP (Iterative Closest Point) [14] を用いて 3次元データを位置合わせする．そして，位置合わせしたデータ間の距離に基づいて照合スコアを算出する．以下では，各処理の詳細について説明する．

#### 部分領域抽出

表情が変化すると，顔の 3次元構造が大きく変化してしまう．高性能な 3次元顔認証を実現するためには，表情が変化しても構造が変わらない部分領域を照合に用いる必要がある．筆者らのこれまでの実験的検討により，両目や鼻の周辺の構造が表情変化に依存しないことがわかっている [15]．そこで，前処理で得られた特徴点に基づいて両目および鼻の周りの領域を抽出し，その領域の

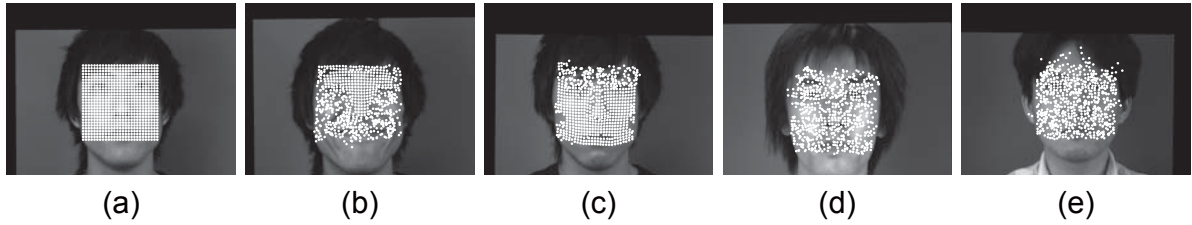


図 7: 対応点探索の例 : (a) 登録画像と基準点, (b) 笑った同一人物, (c) 怒った同一人物, (d), (e) 他人

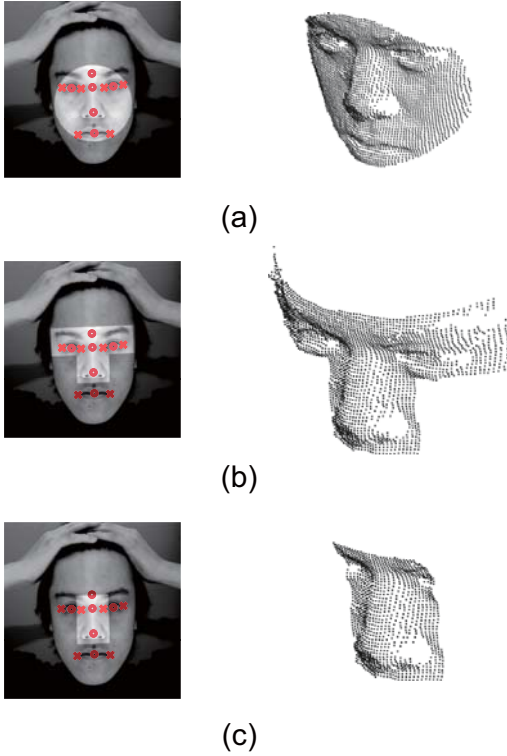


図 8: 顔の部分領域 : (a) 顔全体, (b) 両目と鼻の周辺, (c) 鼻周辺

みを 3 次元復元する . 図 8 に抽出した部分領域および復元した 3 次元構造を示す .

照合およびスコア算出

ICP を用いて部分領域の 3 次元データを照合する . ICP は , 2 つの 3 次元データ間の距離が最小となるように回転・並進の操作を繰り返しながら位置合わせを行う手法である . 位置合わせした 2 つの 3 次元データ間の照合スコアは , データ間の平均距離で評価する . ICP を用いた 3 次元データの照合処理およびスコア算出の詳細については , 文献 [7] を参照されたい .

### 3.5 スコア融合

異なる 2 つの特徴により得られた照合スコアを融合することにより , 認証性能が向上することが知られている [16] . 本論文では , 以上の処理により得られた 2 次元顔認証および 3 次元顔認証の照合スコアを融合する . スコアの融合には , さまざまな手法が提案されているが

[16] , ここでは , 単純な融合でどれくらいの性能向上が見られるかを調べるために , 照合スコアの重み付け平均を用いる .

## 4 実験と考察

本論文では , 14 人の被験者に対して異なるタイミングで 1 人につき 28 回撮影することにより得た計 392 組 (14 人  $\times$  28 回) の顔画像データベースを使用する . 各人に対し , 無表情 , 笑い , 怒り , 驚き , 悲しみの 5 つに表情を変化させた場合と , 左右を向いた場合の合計 7 通りを 4 回ずつ撮影した . 図 9 にデータベースに格納されているステレオ画像と , その 3 次元データを示す .

認証精度の評価として , 1 対 1 のバイオメトリクス認証 (verification) 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 . 本人同士の照合の組み合わせは 5,292 組 (14 人  $\times$   ${}_{28}C_2$  通り) , 他人同士の照合の組み合わせは 71,344 組 ( ${}_{392}C_2 - 5,292$  通り) であり , 合計で 76,636 組に対して認証実験を行う . 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ことを表している .

本論文では , 2 次元顔認証 , 3 次元顔認証 , 提案アルゴリズムの 3 つの性能を比較する . ここで , 3 次元顔認証については , 比較のために顔全体 , 鼻と目の周辺 , 鼻の周辺の 3 通りについて実験する . 図 10 にそれぞれの ROC 曲線と EER を示す . 実験結果より , 2 次元顔認証の EER が 30% 程度であり , 認証性能があまり高くない . これは , 表情変化について比較的ロバストに認証できているが , 顔の向き変化には対応できていないことが原因である . 一方で , 3 次元顔認証の EER は , 11~20% 程度である . 顔全体を用いた場合は , EER が 20% 程度であり , 表情の変化によって性能が低下している . 表情の変化により構造が変化しない鼻周辺の構造を用いた場合は , EER が 11% であり , 表情変化と顔の向き変化

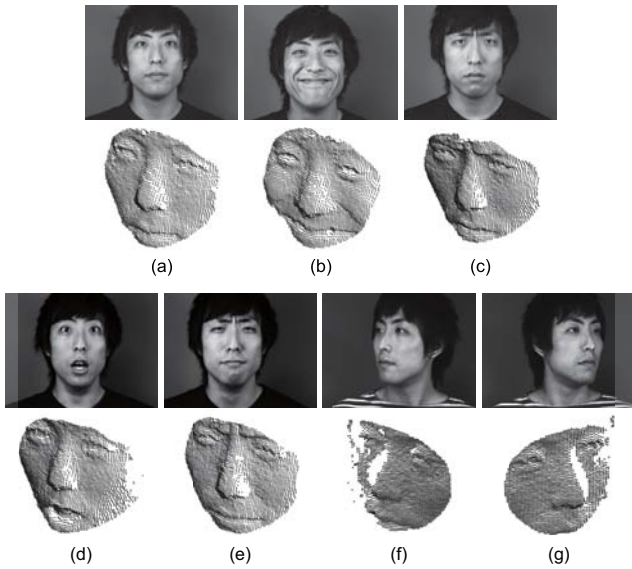


図 9: データベースの画像例: (a) 無表情, (b) 笑い, (c) 怒り, (d) 驚き, (e) 悲しみ, (f) 左向き, (g) 右向き

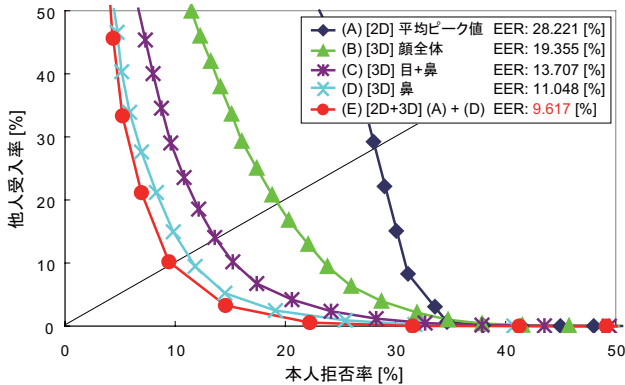


図 10: ROC 曲線

に対してロバストに認証できている。最後に、提案アルゴリズムは、EER が 9% 程度であり、もっとも性能が高い。これは、2次元顔認証と3次元顔認証が互いに相補的な関係にあり、照合スコアを融合することで性能が向上したことを示している。

## 5 まとめ

本論文では、位相限定相関法を用いた2次元顔認証アルゴリズムと3次元顔認証アルゴリズムを組み合わせることで、それぞれを単独で用いるよりも性能が向上することを示した。今後は、単純なスコアの組み合わせだけでなく、さまざまな組み合わせを検討すると共に、他の生体特徴との組み合わせも検討する。

## 参考文献

[1] A. Jain, A. Ross, and S. Pankanti, "Biometrics: A tool for information security," IEEE Trans. Informa-

tion Forensics and Security, vol.1, no.2, pp.125–143, June 2006.

- [2] S.Z. Li and A.K. Jain, Handbook of Face Recognition, Springer, 2005.
- [3] 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., vol.19, no.7, pp.775–779, July 1997.
- [4] T.F. Cootes, G.J. Edwards, and C.J. Taylor, "Active appearance models," Proc. Europ. Conf. Computer Vision, vol.2, pp.484–498, 1998.
- [5] A. Scheenstra, A. Ruifrok, and R. Veltkamp, "A survey of 3D face recognition methods," Lecture Notes on Computer Science (AVBPA 2005), vol.3546, pp.891–899, July 2005.
- [6] 早坂昭裕, 伊藤康一, 青木孝文, 中島寛, and 小林孝次, "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," 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2008), pp.382–387, July 2008.
- [7] A. Hayasaka, T. Shibahara, K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima, and K. Kobayashi, "A passive 3D face recognition system and its performance evaluation," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E91-A, no.8, pp.1974–1981, Aug. 2008.
- [8] K. Ito, H. Nakajima, K. Kobayashi, T. Aoki, and T. Higuchi, "A fingerprint matching algorithm using phase-only correlation," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E87-A, no.3, pp.682–691, March 2004.
- [9] 青木孝文, 伊藤康一, 柴原琢磨, and 長嶋聖, "位相限定相関法に基づく高精度マシビジョン—ピクセル分解能の壁を越える画像センシング技術を目指して—," IEICE Fundamentals Review, vol.1, no.1, pp.30–40, July 2007.
- [10] K. Takita, T. Aoki, Y. Sasaki, T. Higuchi, and K. Kobayashi, "High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E86-A, no.8, pp.1925–1934, Aug. 2003.
- [11] K. Takita, M.A. Muquit, T. Aoki, and T. Higuchi, "A sub-pixel correspondence search technique for computer vision applications," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E87-A, no.8, pp.1913–1923, Aug. 2004.
- [12] P. Viola and M. Jones, "Robust real time object detection," Proc. 2nd Int. Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision, pp.1–25, July 2001.
- [13] A.S.M. Sohail and P. Bhattacharya, "Detection of facial feature points using anthropometric face model," Proc. Int. Conf. Signal-Image Technology and Internet-Based Systems, pp.656–665, Dec. 2006.
- [14] P.J. Besl and N.D. McKay, "A method for registration of 3-D shapes," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.14, no.2, pp.239–256, Feb. 1992.
- [15] A. Hayasaka, K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima, and K. Kobayashi, "A robust 3D face recognition algorithm using passive stereo vision," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E92-A, no.4, April 2009. (to be published).
- [16] A.A. Ross, K. Nandakumar, and A.K. Jain, Handbook of Multibiometrics, Springer, 2006.