

被認証顔の属性の多様性に対する個人認証システムのロバスト性の評価：GaborJet法とEigenface法の比較

AKAMATSU, Shigeru / 赤松, 茂 / 田中, 健一 / 加藤, 博之 /
TANAKA, Kenichi / KATOH, Hiroyuki

(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. IE, 画像工学 / 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学

(巻 / Volume)

104

(号 / Number)

648

(開始ページ / Start Page)

87

(終了ページ / End Page)

92

(発行年 / Year)

2005-02-03

被認証顔の属性の多様性に対する個人認証システムのロバスト性の評価

—GaborJet 法と Eigenface 法の比較—

加藤博之[†] 田中健一[‡] 赤松 茂^{†,‡}

[†] 法政大学工学部 システム制御工学科 akamatsu@k.hosei.ac.jp

[‡] 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

あらまし： 人間による顔の認識に関しては，自分と同じ人種の顔は異なる人種の顔よりも正しく認知されやすいという人種効果が知られている．顔画像による個人認証システムが同様の人種効果を示せば，特定の人種に対して著しい不利益が生じる恐れがある．そこで，ある特定人種の顔画像データに基づいて判定基準が設定された本人認証システムにおいて，別の人種の異邦人が被認証者となった時に起こりうる誤認証頻度は，判別に用いられる顔画像の特徴表現法によって異なる性質をもつことはないかを，古典的かつ有力な特徴表現法として知られる Eigenface と GaborJet について比較したところ，異なる人種効果が観測された．本稿では，その追加評価として，表情に変化のある顔画像を用いて比較した．

キーワード： バイオメトリクス，顔の認識，Eigenface，GaborJet，人種効果

Robustness of face identification system against variety of facial attributes

—Comparison of the two major face representation schemes: GaborJet v.s. Eigenface—

Hiroyuki Katoh[†] Kenichi Tanaka[‡] and Shigeru Akamatsu^{†,‡}

[†] Faculty of Engineering, Hosei University

[‡] Hosei University graduate school akamatsu@k.hosei.ac.jp

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

Abstract : Most people report finding it difficult to recognize the faces of people of other races, which is known as other-race effect in face perception. If this tendency is also shown by automatic face identification systems, it might pose a kind of the racial issue. With an awareness of this potential problem of the biometric authentication system, we investigated whether two major classical schemes for image representation in face recognition, i.e. Eigenface and GaborJet, show different racial effects in terms of verification error on alien subjects. As a result, a different racial effect was observed. In this paper, we compared it by using the face image that there is a change in the expression as the additional evaluation.

Keyword : Biometrics, Face recognition, Eigenface, GaborJet, Other-race effect

1. はじめに

コンピュータによる顔の認識が，(1) 顔による本人認証や高度な遠隔監視を行うセキュリティシステム，(2) 顔から読み取られる情報に応じてコンピュータがユーザに歩み寄る優れたヒューマンインタフェース，(3) 人工視覚により人間とのコミュニケーション能力をもつ知能ロボット，(4) 人物の顔をキーとした映像の検索・編集システム，など幅広い応用が期待される技術として，その基礎研究が本格的に行われ

るようになってから既に久しい^[1]．このうちセキュリティへの応用に関しては，「顔パス」という言葉もあるように，生体情報を用いたバイオメトリクス認証の有力な手段の一つとして，その実用化には大きな期待が寄せられていた．しかしながら顔による本人認証の精度は指紋や虹彩などの代替手段に比べると数段劣っているからその実用化にはまだ相当の距離があるのでは，という認識が当初は一般的であったように思われる．

しかし近年の研究の進展は著しい。米国DARPA等の主催で2002年に開催された顔認証技術のベンダーテストFRVT2002の結果^[2]によると、照明条件がコントロールされた室内での正面顔による認証においては、顔認証は一時期の指紋認証とほぼ同程度のレベルまで精度が向上したとされている。また我が国における研究動向に限ってみても、顔による本人認証を支える顔の検出ならびに顔の照合に関して、実用面で大きく貢献しうる新たな手法が提案され、それらの有効性が検証されている^[3]。また、顔認証システム間での精度比較や評価者に依存しない精度評価を可能とする、顔による認証精度の客観的な評価方法の標準化の検討も進展してきている^[4]。セキュリティシステムにおいて、他のバイオメトリクス認証と比較した場合に顔認証の特徴とされる非接触性や人間にとっての了解性が強みとなる適用領域も数多く存在するので、上記のような技術の進展に伴い、顔を用いたバイオメトリクス認証技術への期待は昨今ますます高まってきている。

顔による本人認証システムは当初、ある程度限定された特定グループに属する人物を認証対象に想定したPCログインや庁舎内の入退室管理システムとしての導入を念頭において開発が進められてきた。しかし、9.11同時多発テロを発端として、空港などでの出入国管理への顔認証システムの導入、パスポートへのバイオメトリクス情報組み込みを義務づけようとする動きなど、顔によるバイオメトリクス認証技術を国際環境において本格的に導入しようとする機運が高まっている。このような国際環境での運用では、被認証者がさまざまな人種に及ぶことが特徴的となり、認証アルゴリズムやパラメータ設定に関する標準化にあたってはその点を考慮する必要がある。

ところで、コンピュータによる顔の認識技術が到達目標としてきた人間の顔認知能力に関して、認知する観察者と認知される顔との間にはいわゆる人種効果が存在することが知られている^[5]。これは、一般に自分と同じ人種の顔の認識は異なる人種の顔よりも認知成績がよくなる現象として知られている。言いかえると、自分と異なる人種の別人の顔はその違いを区別しにくく、同一の人物と見誤りやすいということである。この現象は、人による顔の認知において日頃よく目にしている顔から形成されるプロトタイプとの差異が重要であること、そして、異なる人種の顔の識別に有効なプロトタイプは見慣れている自人種の顔の集合から獲得されているものとは異なるものであるため、自人種の顔から獲得済みのプロトタイプとの差を用いると他人種の顔は適切に認知できなくなる、と説明されている。

コンピュータによる顔の認識を用いた本人認証システムでは、顔パターンから得られた多次元データから人物の判定に用いるより低次元の識別用特徴を求める過程で、認証の対象として想定している顔の母集団の標本サンプルに対して主成分分析を用いる場合が多い。その結果として得られる識別用特徴は母集団における平均特徴からのばらつきを効率

的に表現しようとするものとなる。そこで、認証システムの設計に利用する顔の母集団を特定の人種から選んだ場合には、人間による顔認知と類似した人種効果が生起する可能性もある。その場合には、認証システム設計のための顔母集団に十分に反映されていないマイノリティに属する利用者は、仮に同じ人種の中に指名手配されている人物がいると、その人種に属する多くの人がその指名手配者に誤認識されやすいという不公平が生じて、人種間の差別を助長する恐れもある。したがって認証システムの認証精度がシステムの設計に用いられた人種と異なる人種に属する認証対象者に対してどのように影響されるかを定量的に分析しておくことは、国際環境での運用を想定した場合には不可欠なことと思われる。

このような問題意識にもとづく先行研究事例の一つとして、(財)機械システム振興協会からの委託により(社)日本自動認識システム協会が平成15年に実施した「バイオメトリクスアルゴリズム認証精度の人種間差異に関する調査研究」^[6]がある。これは市販されている代表的な顔認識エンジンを用いて、認証システムによる顔の識別力が同一人種内および異人種間でどのように変化するかの実証試験を行ったものであった。

筆者らはこの先行研究に触発され、ある人種を想定して本人認証の判定基準が設定された認証システムに別人種の異邦人が被認証者となった時に起こりうる誤認証頻度が、認証システムが使用する顔パターンの特徴表現法に応じて異なった性質をもつことはないだろうかという疑問をとりあげた。そこでは、コンピュータによる顔認識において先駆的な位置づけにある2つの特徴表現法、即ち、画像の各点の濃淡値がもつ大局的分布を主成分分析によって次元圧縮したEigenface法^[7]と、人間の視覚野の特性を近似していると言われるガボールフィルタの出力に対する空間的サンプリングによって得られたGaborJet特徴^[8]、のそれぞれを用いた認証システムを想定し、日本人と外国人の比較的小規模な顔画像データを用いて実験を行い、両手法による認証精度には異なる人種効果が観測されることを報告した^[9]。

本稿は、この先行研究の延長として、表情に変化のある顔画像を用いて、同様の認証実験を行った結果を報告する。

2. 評価対象とした顔画像による個人認証アルゴリズム

2.1. 顔画像の前処理

実験に使用する全ての顔画像に対して、FUTONシステム^[11]という顔画像合成ソフトウェアを用いて顔の特徴点を目視で抽出し、その特徴点を用いてアフィン変換を行い、顔パターンを含む領域を128×128のサイズに切り出した。さらに濃淡値分布に関して正規化を行い、照明条件などによる濃淡値の影響を軽減した。

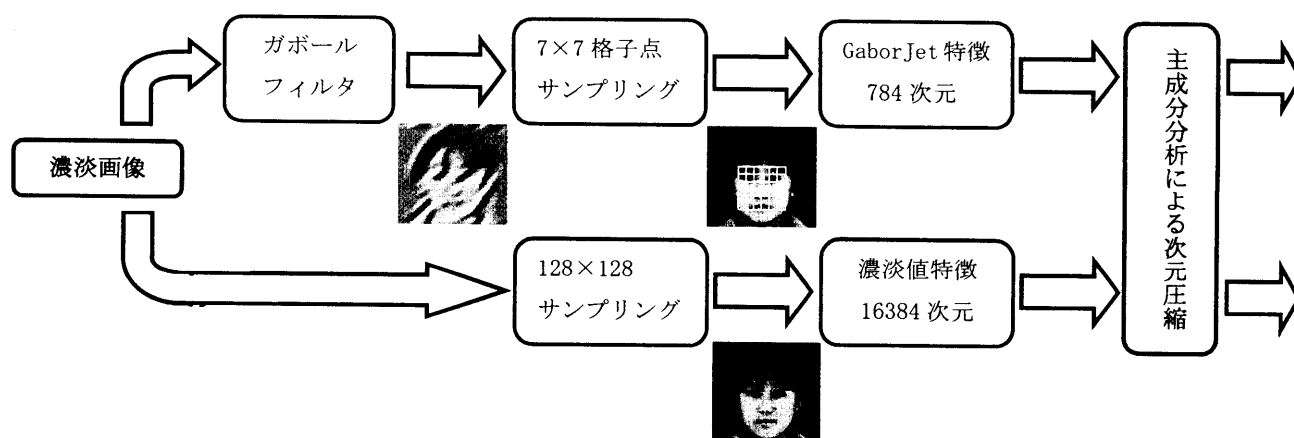


Fig. 1. 本実験で使した 2 種類の特徴表現法

2.2. 顔画像の特徴表現

本研究では、画像の濃淡値特徴を主成分分析することによって顔画像の符号化を行ういわゆる Eigenface 法と、ガボールウェーブレット変換（以下、GWT）によって抽出された GaborJet 特徴を主成分分析することによって符号化を行う方法の、2 つを用いて認証実験を行った。

2.2.1. ガボールウェーブレット変換

GWT は、ガボールフィルタの解像度と方向を変化させたものを畳み込むことで、各点の周辺における濃淡情報の周期性と方向性の両方を表す特徴量を各点に抽出する処理である。

このフィルタを用いて、Fig. 1. の上段右側の写真に示すように配置された 7×7 の格子枠を設け、その各格子点で角度、窓幅、周波数という 3 つのパラメータを変化させたガボールフィルタを畳み込んで得られた値をサンプリングし、各格子点周辺における濃淡パターンの周期性と方向性を表す特徴量として抽出した。

本研究では、（角度 4 種） $\times$ （窓幅と周波数の組み合わせ 4 種）の計 16 種のフィルタリングを行い、各格子点でサンプリングすることにより、 $7 \times 7 \times 16 = 784$ 次元の特徴ベクトルを GaborJet 特徴として抽出した。

2.2.2. 主成分分析

本研究において、 128×128 サイズの画像の濃淡値をそのまま表した特徴ベクトルは 16384 次元、GaborJet 特徴ベクトルは 784 次元と、いずれも膨大なデータ量となる。そこで、顔のサンプル集合に対して、その濃淡値特徴と GaborJet 特徴をそれぞれ主成分分析を行い、各特徴ベクトルに対して各々の正規直交基底への射影値を求めることで、顔パターンのもつ多様性を低次元のパラメータによって効率的に表現することを試みた。

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たとき、

その K 個の正規直交基底 $\mathbf{U}_k$ に対する射影 $f_{m,k}$ は、

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

と表される。ここで $\mathbf{X}_m$ は、顔パターン m の濃淡値特徴もしくは GaborJet 特徴を表す。また $\boldsymbol{\mu}$ は、サンプル集合についての濃淡値特徴もしくは GaborJet 特徴の平均を表す。なお、顔パターンの多様性をより効率的に反映させたパラメータを得るために、 $\mathbf{U}_k (k=1,2,\dots,K)$ はサンプル集合における $\mathbf{X}_m$ の標本共分散行列の固有ベクトルを固有値の大きさの順に選択したものである。

$K \ll N$ であるから、次元数 N の顔画像データは、 K 個の成分からなるベクトルに次元圧縮して符号化されたことになる。この K 次元特徴ベクトルを用いて顔画像の認証を行う。

2.3. 個人認証の評価法

本人認証では、入力画像から得られる特徴とあらかじめ本人として登録されている特徴との間の距離値が、ある閾値より小さければ本人（同一人物）、閾値よりも大きければ他人（別人物）と判定する。距離としては、特徴ベクトル間のユークリッド距離を用いた。本人判定に用いる閾値は、同一人物の顔から得られた特徴間での距離値のヒストグラムと、別人物の顔から得られた特徴間での距離値のヒストグラムとから求めた。双方のヒストグラムが重なりあう領域の割合が、個人認証におけるエラーの出現頻度を表している。

本実験では、同一人物であるにもかかわらず、登録された特徴との距離値が閾値よりも大きいために本人ではないと誤認識された本人排除率（FRR）と、他人物であるにもかかわらず、距離値が閾値より小さいために本人と誤認識された他人受率（FAR）という 2 つのエラー率の合計を 100% から引いたものを認証率として評価した。

3. 先行研究における結果

以上に述べた手法で顔画像による個人認証を行うシステムについて、認証精度の人種効果を分析した本稿の著者らによる先行研究^[9]の概要を以下に示す。

本実験では、システムの設計と運用で対象とする顔における人種差が認証精度に及ぼす影響を調べるために、日本人と外国人という、2種類の顔画像データベースを用いた。そして、日本人と外国人の混合データをmixデータとした。また、ここで扱う顔画像は、正面から撮影された真顔に限定した。

まず、「日本人データ」と「外国人データ」を用いて、それぞれ同一人物から得られる特徴間の距離値と、別人物から得られる特徴間の距離値の分布を調べることで、各人種内での認証に最適な閾値を定め、それぞれを「日本システム」、「外国システム」と名付けた。なお、特徴の次元圧縮のために主成分分析を行う学習サンプルには、日本システム・外国システムのいずれも日本人あるいは外国人の顔画像148名分を利用した。

次に、「mixデータ」を用いて、上記の各システムにおいて、異人種を登録して認証した場合の認証実験を行い、各システムの認証精度を評価した。

Eigenface法とGaborJet特徴を用いた2種類の認証システムにおいて、その設計に用いたのと同じ人種に対する認証精度と、異なる人種に対する認証精度を比較すると、Fig. 2.のような結果が得られた。左の2つのグラフは「日本システム」において、日本人と外国人をそれぞれ認証した結果を示し、右の2つのグラフは「外国システム」において、日本人と外国人をそれぞれ認証した結果を示す。つまり、中央の2つグラフが、認証システムの設計に用いた人種とは異なる人種に対する認証精度を示している。

一般に、Eigenface法よりもGaborJet特徴を用いた認証の方が高精度であることが知られているが、この先行研究より、GaborJet特徴を用いた認証が全ての場合において優れているわけではない、ということがわかった。

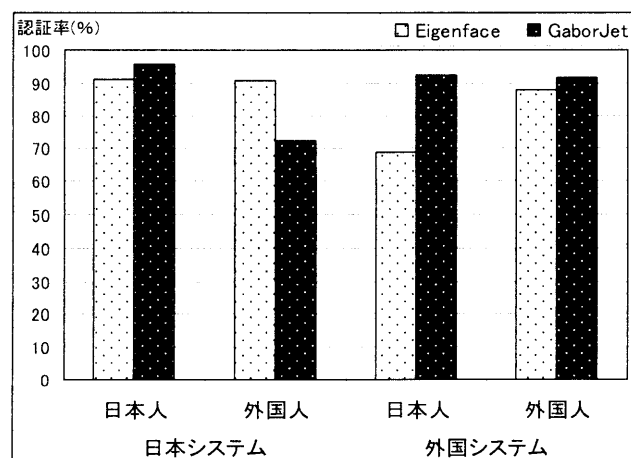


Fig. 2. 異人種に対する認証精度の比較
(表情は真顔に限定した場合)

4. 表情の変化に対する認証精度の耐性の比較

前述の先行研究では、被認証人物の顔は表情変化のない真顔に限定して2つの認証システム(GaborJetとEigenface)の性能を比較する実験を行った。これに対して本研究では、顔の表情が変化した場合の認証精度を、日本人と外国人の場合で比較することにした。

4.1. 認証実験に用いた表情顔画像データ

上記の目的のために、表情の変化を含む顔画像データベースを、日本人と外国人についてそれぞれ次のように用意した。

4.1.1. 日本人データ

日本人の顔画像データとして、(株)エイティアル人間情報通信研究所提供の表情データベース^[11]を使用した。日本人の男女12名ずつ計24名で構成されており、真顔・喜び(開口・閉口)・怒り(開口・閉口)・恐れ・驚き・軽蔑・嫌悪・悲しみの10表情が各人1パターンずつ含まれている。



Fig. 3. 認証実験に用いた日本人データの例

4.1.2. 外国人データ

外国人データとしても、表情に変化のあるデータベース^[12]を使用した。外国人男性23名、女性18名の計41名で構成されている。各人ごとの表情に厳密な規格統一がされておらず、12~17表情が含まれている。また、すべての画像が背景を白く塗りつぶされている。



Fig. 4. 認証実験に用いた外国人データの例

両データベースの統一を図るため、日本人データについても背景を手作業で白く塗りつぶしたものを使用した。そして、両者に共通して存在する、真顔・喜び(開口)・怒り(開口)・恐れ・驚き・軽蔑・嫌悪の7表情からなる顔画像データを、本研究において被認証人物の顔の表情が変化した場合の認証精度を求めるための実験データとした。

4.2. 表情の変化を伴う顔に対する認証精度の評価

3節に示した先行研究と同様に、システムの設計と顔による個人認証の運用とで対象とするサンプルに人種差がある場合の認証精度の比較を、今回は認証時の顔表情を真顔に限

定せずに、登録時と認証テスト時で表情の変化がある場合を想定し、先行研究と同様の実験手順によって Eigenface 法と GaborJet 特徴による認証精度の比較・評価を行った。

なお、今回の実験は、先行研究の結果に対する追加評価という意味合いが強いため、Eigenface 法ならびに GaborJet 特徴において特徴ベクトルの次元圧縮を行うために主成分分析を行う学習サンプルとしては、先行研究と同じ 148 名からなる真顔の顔画像データを使用している。ただし、本実験において認証評価に用いた 4.1 に示す表情の顔画像データとの整合をはかるため、学習サンプル用の顔画像の背景部分をすべて人為的に白く塗りつぶした画像データを対象に、濃淡値あるいはガボールフィルタの出力値を求め、主成分分析を行った。

本人認証のシミュレーション実験において登録と認証テストに使用した顔画像サンプルの仕様を Table. 1 に示す。

先行研究の場合と同様に、まず「日本人データ」と「外国人データ」のそれぞれを用いて、同一人物の 2 枚の顔画像から得られる特徴ベクトル間の距離値と、別人物の顔画像から得られる特徴ベクトル間の距離値の分布を求めた。そして、双方の分布をもっとも少ない誤り率で判別する距離の閾値を定めて、それぞれを「日本システム」「外国システム」と名付けた。なお、同一人物ならびに異なる人物の間で特徴ベクトルの距離値を求める顔画像のペアとしては、一方は辞書として登録した真顔の顔画像サンプル、他方は 6 表情からなるテストサンプルを用いた。

次に、「mix データ」を用いて、上記の各システムにおいて、システムにとって異人種の人物を登録して本人認証を行った場合の実験を行い、各システムの認証精度を評価した。

Fig. 5. に「外国システム」の場合を例に、異人種である日本人を認証する際の閾値の適合性の可否を示す。上段のグラフは、学習サンプルに外国人データを用いて主成分分析を行うことで外国人の顔の識別に適した特徴を求め、さらに、テストサンプルにも外国人データを用いることで、外国人を認証するのに最適な「外国システム」の閾値を設定している様子を示す。下段のグラフは、その外国人用にカスタマイズされた認証システムに日本人を登録し、テストサンプルとして日本人と外国人の混在した mix データを用いた場合、外国システム用として上段で定めた閾値が同一人物の特徴間の距離値のヒストグラムと別人物の特徴間の距離値のヒストグラムの分離にどの程度有効かを示している。

Eigenface 法と GaborJet 特徴を用いた 2 種類の認証システムについて、その設計に用いたのと同じ人種の人物に対する認証精度と、異なる人種の人物に対する認証精度との違いを、登録時と認証時で表情の変化を想定した場合について比較した結果を Fig. 6. に示す。

Table. 1 本人認証実験で使った顔画像サンプル

人種	登録サンプル	テストサンプル
日本人データ	24 名×1 表情 (真顔)	24 名 × 6 表情 (真顔以外)
外国人データ	41 名×1 表情 (真顔)	41 名 × 6 表情 (真顔以外)
mix データ	日本人 24 名 + 外国人 41 名 計 65 名×1 表情 (真顔)	(日本人 24 名 + 外国人 41 名) 計 65 名 × 6 表情 (真顔以外)

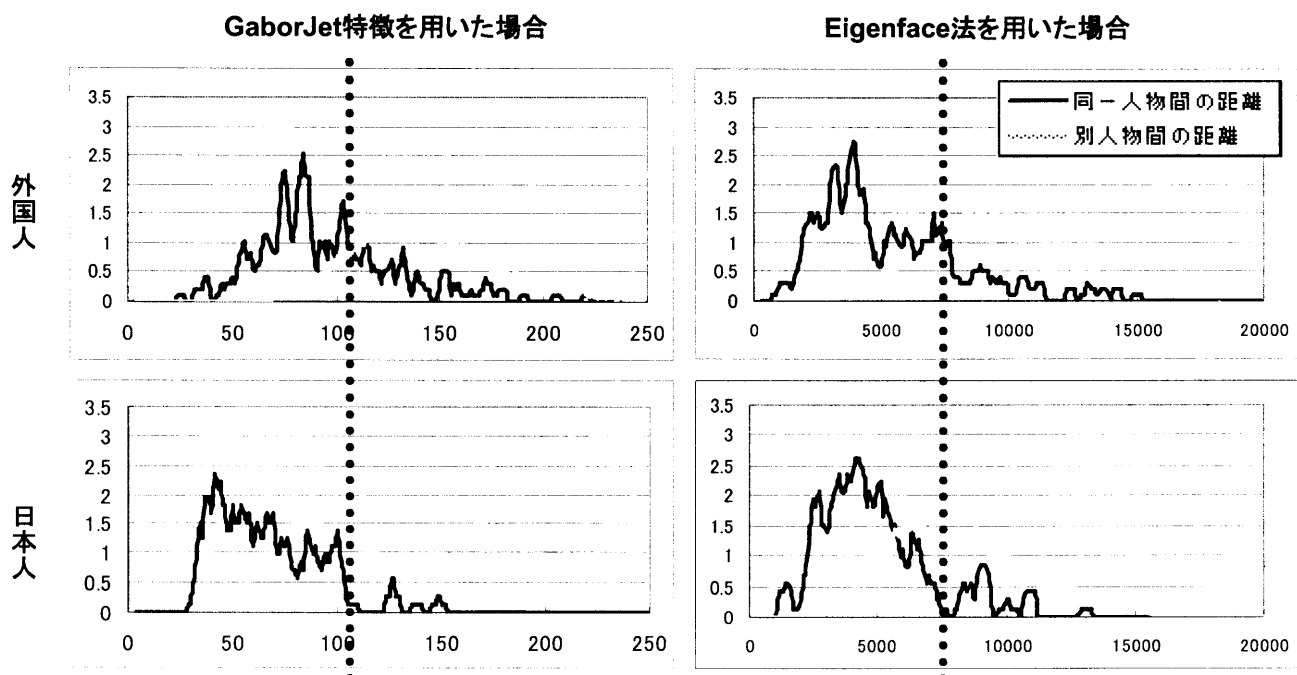


Fig. 5. 「外国システム」における本人認証閾値の設定と「日本人」の認証における適合性

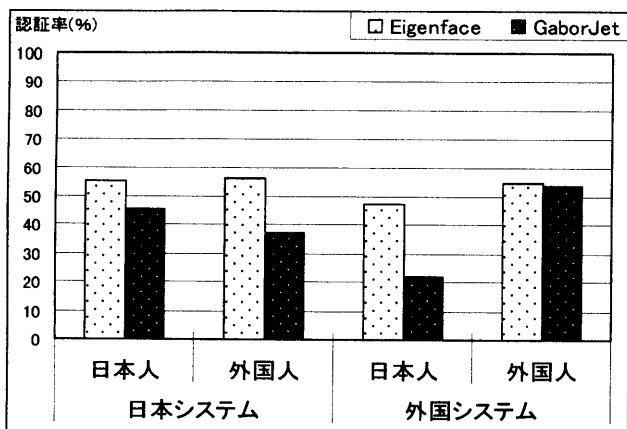


Fig. 6. 異人種に対する認証精度の比較
(表情に変化を想定した場合)

5. むすび

本研究は、「一般には Eigenface 法よりも GaborJet 特徴の方が顔認識のための特徴表現法として優れていると言われているが、GaborJet 特徴を用いた方がすべての場合に高精度な認証を実現できるわけではない」ことを示した先行研究での実験結果を踏まえ、さらに認証する顔の表情変化を許容した場合に、システムの設計に学習サンプルとして用いた顔と実際に認証の対象となる顔との間の人種の違いが、これらの特徴表現法にもとづく認証システムの性能にどのように影響するかを明らかにする分析を行った。

この結果、Fig.6.に示すように、人種の違いによる認証精度への影響に関して本実験の結果から両手法の間で顕著な違いは認められず、人種の一致・不一致にかかわらず全般的に認証精度の低下傾向がみられる上に、特に GaborJet 特徴の使用において精度の低下が著しいことがわかった。

このような結果が得られた原因は、本研究で用いた顔画像にあると思われる。Fig.2.に示した先行研究の実験結果は、顔の表情を真顔に制限して行われたものであったのに対し、本実験では表情に変化のある顔画像を用いた。登録画像が真顔であるにもかかわらず、異なる表情の顔画像でテストを行ったため、非常に難しい条件下での認証実験となってしまう、全体的な認証精度が非常に低くなってしまったのだろう。

すべての場合において GaborJet 特徴を用いた認証が Eigenface 法の精度を下回ったことは、表情変化に対する両特徴のロバスト性の差が原因と思われる。主成分分析の対象とする学習サンプルはすべて真顔を用いているので、いずれの特徴を用いた場合でも、次元圧縮された特徴は、表情による顔パターンの変化よりも人物の違いによる顔の差異を効率的に表現するものであったはずではある。しかし、GaborJet 特徴は、表情の分類を行う手法として非常に有効であることが知られている。そのため、本研究での認証実験においても、GaborJet 特徴は人物の差よりも表情の違いを顕著に検出してしまったため、認証精度を低下させたと考えられる。

本実験の結果は、Eigenface 法と GaborJet 特徴による顔

の認証において、人種効果に関する新たな性質を提示するものとはならなかったが、GaborJet 特徴を用いた認証が全ての場合において優れているわけではない、という傾向をはっきりみることができた。今後の展望として、本研究では真顔の顔画像のみを登録して認証実験を行ったが、複数の表情をあらかじめ登録しておけば、上記のような GaborJet 特徴の特性を補えるため、異なる人種効果が観察される可能性があるかもしれない。

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人 日本学術振興会の科学研究費補助金（基盤研究(B)(1) 15300076）の助成を得て行った。記して謝意を表す。

また、本研究で、日本人の顔画像データとして H01P 顔画像データベースを使用させていただいた財団法人ソフピアアジアパシフィック、外国人の顔画像データとして Oulu 大学より入手した顔画像データベースを使用させていただいた社団法人日本自動認識システム協会に感謝する。

参考文献

- [1] 赤松茂, “コンピュータによる顔の認識 - サーベイ -, ” 信学論 D-II, Vol. 80-D-II, No. 8, pp. 2031-2046, Aug. 1997
- [2] P. J. Phillips, et al., “Face Recognition Vendor Test 2002, Evaluation Report, March 2003 (<http://www.frvt.org>)
- [3] 佐藤敦, “バイオメトリクス認証と顔認識技術,” 精密工学会画像応用技術専門委員会研究会報告, Vol. 18, No. 3, pp. 6-15, 2003
- [4] “顔認証システムの精度評価方法,” JIS-TRX 0086:2003, 日本規格協会, 2003
- [5] J. Shepherd, “Social factors in face recognition,” In G. Davies, H. Ellis, & J. Shepherd (Eds.), Perceiving and remembering faces. London: Academic Press (1981)
- [6] “バイオメトリクスアルゴリズム認証精度の人種間差異に関する調査研究報告書,” 社団法人日本自動認識システム協会, April 2003 (http://www.aimjapan.or.jp/whatsnew/bia_0304.htm)
- [7] M. Turk and A. Pentland, “Eigenfaces for Recognition,” J. of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, pp. 71-86, 1991
- [8] L. Wiskott, J. M. Fellous, N. Kruger, and C. von der Malsburg, “Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching,” IEEE Trans. on PAMI, Vol. 19, No. 7, pp. 775-779, 1997
- [9] 田中健一 他, “顔画像による個人認証システムにおける人種効果の分析-GaborJet と Eigenface の比較-”, 信学技報 PRMU 2003-277, pp. 127-132, 2004
- [10] 向田茂, 蒲池みゆき, 尾田正臣, 加藤隆, 吉川左紀子, 赤松茂, 千原國宏, “操作性を考慮した顔画像合成システム: FUTON - 顔認知研究のツールとしての評価 -, ” 信学論, Vol. J85-A, No. 10, pp. 1126-1137, Oct. 2002
- [11] 蒲池みゆき, “ATR 顔表情データベース (DB99) 概要” ATR テクニカルレポート TR-H-305, (株) 国際電気通信基礎技術研究所, Feb. 2001
- [12] Nim Stim Emotional Face Stimuli (http://www.sacklerinstitute.org/cornell/assays_andtools/)