

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

町田, 和幸 / AKAMATSU, Shigeru / 赤松, 茂 / TANAKA, Kenichi / MACHIDA, Kazuyuki / 田中, 健一 / MATSUURA, Shingo / 松浦, 晋吾

(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. PRMU, パターン認識・メディア理解 / 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解

(巻 / Volume)

103

(号 / Number)

737

(開始ページ / Start Page)

127

(終了ページ / End Page)

132

(発行年 / Year)

2004-03-11

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—

田中健一^{*,1} 町田和幸^{*,1} 松浦晋吾^{*,2} 赤松 茂^{*,1,2}

*1 法政大学工学部 システム制御工学科

*2 法政大学大学院 システム工学専攻 akamatsu@k.hosei.ac.jp

〒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、出入国管理や電子パスポートにおける本人認証など、国際環境における本格的導入も検討されている今日の状況に鑑み、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。

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

Racial effect in face identification system

—Comparison of the two major features: Eigenface v.s. GaborJet—

Kenichi Tanaka^{*,1}, Kazuyuki Machida^{*,1}, Shingo Matsuura^{*,2}, and Shigeru Akamatsu^{*,1,2}

*1 Faculty of Engineering, Hosei University

*2 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, when the systems are being widely introduced to security applications on a global scale, such as the use for passport control at international airports. 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.

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^[3]。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^[4]。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^[5]。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理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、2001 年 9 月 11 日の同時多発テロを発端として、空港などでのボーダーコントロールへの顔認証システムの導入、パスポートへの生体情報組み込みを義務づける米国主導の動きなど、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国際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の間には人種効果が存在することが知られている^[6]。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である。裏返せば、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、異なる人種の顔は、その識別に有効なプロトタイプが自人種の顔から獲得されているものとは異なるものであるため、獲得済みのプロトタイプとの差を用いて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人種の利用者は、仮に同じ人種で指名手配されている人物がいると、皆その人物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人種によっ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」^[7]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。

本研究はこの先行研究に触発されて行ったもので、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^[8]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^[9]、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ったところ、両手法による認証精度には異なる人種効果が観測されたので、本稿にてその結果を報告する。

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^[10]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、128×128 のサイズに切り出した。さらに濃淡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。

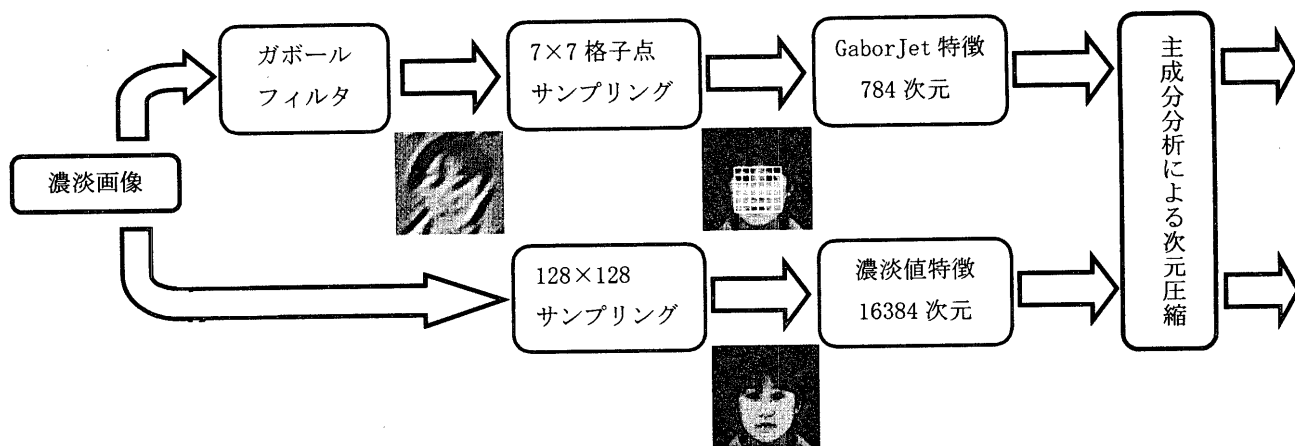


Fig. 1. 本実験で使用した2種類の特徴表現法

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、その特徴点周辺における濃淡情報の周期性と方向性の両方を特徴量として抽出することができる処理である。

このフィルタを用いて、Fig. 1. のように配置された 7×7 の格子枠を設け、その各サンプリング点で角度、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みこむことで、そのサンプリング点周辺における濃淡情報の周期性と方向性を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 種のパラメータを各特徴点から抽出し、 $7 \times 7 \times 16 = 784$ 次元の特徴を、認証に扱う GaborJet 特徴とした。

2.2.2. 主成分分析

本研究において、 128×128 サイズの画像から得られる濃淡値特徴は 16384 次元、GaborJet 特徴は 784 次元という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 特徴をそれぞれ独立に主成分分析を行い、各々の正規直交基底への射影値をそれぞれを求めすることで、顔の多様性を低次元のパラメータによって効率的に表現した。

N 次元ベクトルで表される M 個のパターン $\mathbf{X}_m (m=1,2,\Lambda, M)$ 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、

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

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ガボール特徴の平均を表す。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、 $\mathbf{U}_k (k=1,2,\Lambda, K)$ は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。

これによって、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った。

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. 認証実験に用いたデータ

本研究では、認証の際の人種効果を分析するために、日本人データと外国人データという 2 種類のデータベースを用いた。

3.1. 日本人データ

日本人の顔画像データとして、財団法人ソフトピアジャパ

ン提供のHOIP 顔画像データベースを使用した。日本人の10代後半から60代前半の各世代男女15名ずつの計300名で構成されており、カメラの撮影角度が正面からのものを5パターン、左右に5度、10度ずれた位置から撮影したものを各2パターンずつ計13パターンを用意した。

3.2. 外国人データ

外国人データとしては、Oulu 大学提供のデータベースを使用した。外国人125名+眼鏡着用の23名の計148名で構成されており、約9割が西洋系の白人である。すべて正面から撮影されたもので、各人物について照明条件に変化のあるものを5パターンずつ用いた。

4. 実験1：顔の向きの変動による認証率の耐性

ガボールフィルタのパラメータの設定と、撮影角度に応じた精度の比較を行うために用いた顔画像データの詳細をTable.1に示す。

まず、顔認証に適したガボールフィルタのパラメータを決定するために、窓幅と周波数の組み合わせを変えたものを6タイプ用意し、どのタイプが最も効率よく特徴を抽出するか調べた。角度は各タイプとも0度、45度、90度、135度の4種に固定した。各タイプのガボールフィルタで使用したパラメータをTable.2に示す。

Fig.3.は、300名の人物の正面顔、各人4パターンずつ計1200パターンを用いて、ガボールフィルタの各パラメータのもとでの認証精度をROCカーブを用いて比較したものである。ここでFARならびにFRRは、各人物4パターンずつから得られる同一人物間での距離値のヒストグラムと、各人物に大して残りの1196パターンとの間で得られる別人物間での距離値のヒストグラムとの重なりから算出し、ROCカーブを作成した。



Fig.2. 外国人データ

Table.1 実験1に使用した顔画像データ

人種		学習サンプル	テストサンプル
日本人データ	人数	300名	300名
	撮影角度	正面顔 1パターン	正面、±5度、±10度 計12パターン

Table.2 ガボールフィルタのパラメータのタイプ

タイプA		タイプB		タイプC	
窓幅	周波数	窓幅	周波数	窓幅	周波数
0.4	6	0.32	9	0.4	6
0.24	12	0.25	15	0.14	10
0.15	22	0.2	23	0.12	20
0.1	40	0.12	35	0.1	26
タイプD		タイプE		タイプF	
窓幅	周波数	窓幅	周波数	窓幅	周波数
0.4	8	0.12	14	0.12	18
0.22	14	0.12	34	0.12	38
0.15	22	0.26	6	0.28	8
0.1	35	0.26	24	0.28	28

Fig.3.の結果や±5度、10度のテストサンプルを用いた場合の結果を検討したところ、今回実験したパラメータの中では、タイプBが最も顔認証に適したパラメータと考えられるので、以下の実験でのパラメータを全てタイプBに設定した。

次に撮影方向が変化した場合の認証精度を、GaborJet 特徴を用いた場合と、濃淡値特徴を用いたEigenface 法とを比較する実験を行った。学習サンプルとして正面顔のデータを用いて認証システムを設計し、撮影角度を正面顔、±5度、±10度に変化させた顔画像データをテストサンプルとして認証を行った。その際、後述する実験2との統一をはかるため、特徴の次元圧縮に用いる正規直交基底を求める主成分分析には、300名分の正面顔のうち、各世代・男女をほぼ均一に含む148名分の顔画像データを使用した。

Fig.4.に撮影角度の変化による精度の比較を示す。撮影角度が付くにつれて、精度が下がるという結果が得られた。GaborJet 特徴を用いた方が、Eigenface 法に比べて、常に精度が高くなり、撮影角度の変化による精度の低下も少なかった。

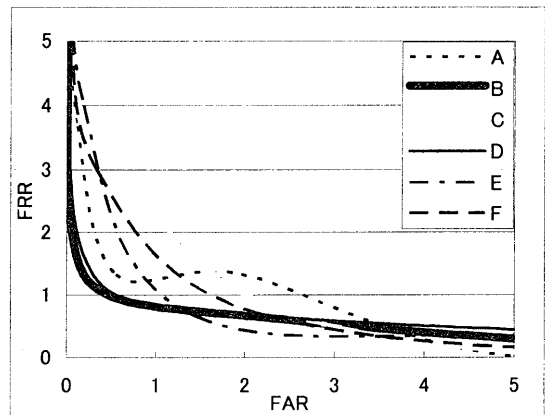


Fig.3. ガボールフィルタのパラメータ設定に応じた GaborJet 特徴による本人認証の性能比較

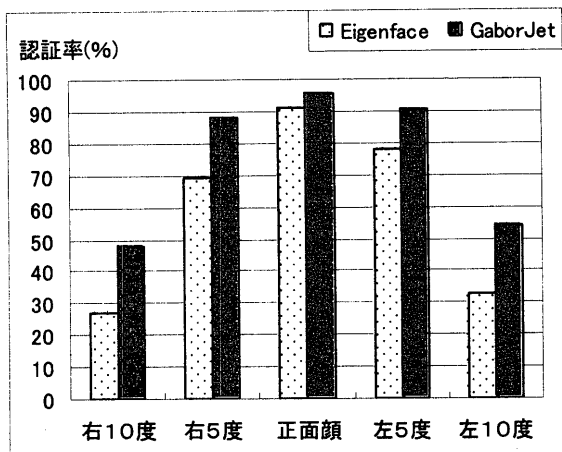


Fig. 4. 撮影方向の変化による本人認証精度の比較

5. 実験 2: システム設計に用いる学習サンプルと認証性能評価に用いるテストサンプル間の人種効果

認証の際の人種効果を分析するために、日本人と外国人という、2種類のデータベースを用いた。また、日本人と外国人の混合データを mix データとした。各データベースの概要を Table. 3 に示す。ここで扱う顔画像は、正面から撮影されたもののみとした。

まず、「日本人データ」と「外国人データ」を用いて、別々に認証精度を評価することで、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。主成分分析を行う学習サンプルは、日本人・外国人共に 148 名とした。

次に、「mix データ」を用いて、上記の各システムにおいて、異人種を認証した場合の実験を行い、各システムの閾値に対する認証精度を評価した。Fig. 5. に日本システムを用い

て外国人を認証した際の閾値の影響を示す。上段のグラフは、学習サンプルに日本人データを用いて主成分分析を行うことで日本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日本人データを用いることで、日本人を認証するのに最適な「日本システム」の閾値を設定している様子を示す。下段のグラフは、その日本人用にカスタマイズされた認証システムに外国人を登録し、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、日本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れだけ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に対する認証精度と、異なる人種の外国人に対する認証精度との違いを比較して、Fig6. に示す。ここで、「日本人-日本」と「外国人-外国」は認証システムの設計に用いた人種と同一の人種に対する認証精度を示しており、Fig. 5. の上段の結果から得られたものである。「外国人-日本」と「日本人-外国」は、設計に用いたのとは異なる人種の外国人に対する認証精度を示しており、Fig. 5. の下段の結果から得られたものである。

Table. 3 実験 2 に使用した顔画像データ

人種	学習サンプル	テストサンプル
日本人データ	300 名	300 名 × 4 パターン
外国人データ	148 名	148 名 × 4 パターン
mix データ	日本人 152 名 +外国人 148 名 計 300 名	日本人 152 名 +外国人 148 名 計 300 名 × 4 パターン

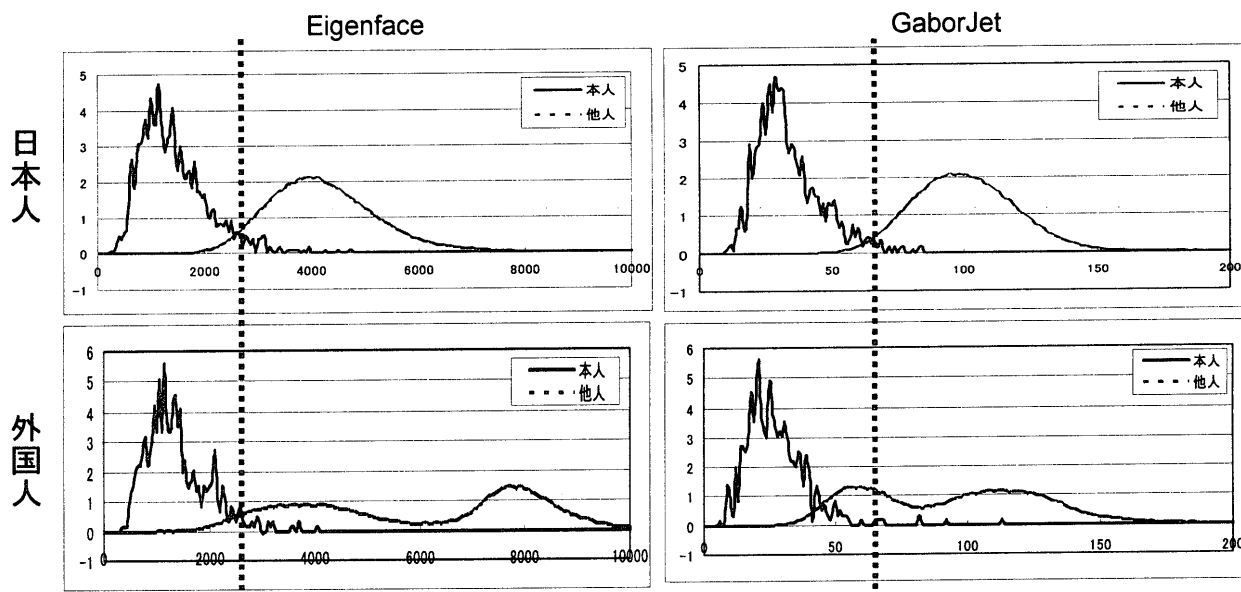


Fig. 5. 「日本システム」における認証パラメータとその「外国人」認証への適合性

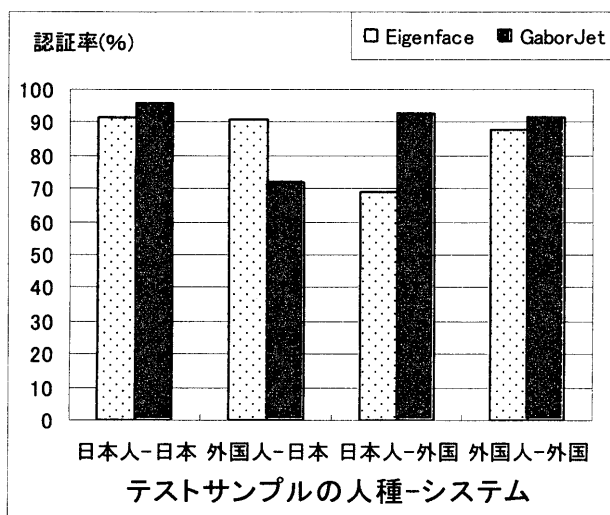


Fig. 6. 異人種に対する認証精度の比較

6. むすび

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おり、それは実験 1 の結果によっても示された。

異人種に対する精度の比較では、システムの設計に用いた人種と異なる人種を本人として登録し、他人として扱う人物をシステムの設計に用いた人種と同一の人種のみとすると、他人を本人と誤認識することがないため、同人種のみでの認証よりも精度が高いという結果が得られた。

しかし、他人として扱う人物を両方の人種とすると (Fig. 6.), 外国システムでは濃淡値特徴を用いた場合、日本システムでは GaborJet 特徴を用いた場合に、他人を本人と誤認識する確率が大幅に増えてしまうという結果が得られた。つまり、日本システムにおいては Eigenface 法の方が GaborJet 特徴を用いた認証よりも認証率が高くなっており、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。

このような結果が得られた原因の解明については今後の研究課題としたい。また、米国のように多人種が混在した顔の集合が想定される場合や、反対に、日本人対外国人の構図だけではなく、人種を細かく分けた場合など、様々な視点からの分析が必要であろう。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省の科研費 (基盤研究 (B) (1) 15300076) の助成を得た。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 HOIP 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トピアジャパン殿、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殿に感謝する。目視による顔パターンの正規化の手段として使用した FUTON システムは

第 4 筆者らが (株) エイティアル人間情報通信研究所において顔認知の心理実験視覚刺激作成用ツールとして開発した顔画像合成ソフトウェアである。開発に係わった各位に感謝する。

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] Benny Wu, and Aron Parker, “よりロバストな顔認証アプリケーションを作るには - 「FRVT 顔認証ベンダーテスト 2002」の結果から見たマルチモーダル生体認証の必要性と現実性について -,” 画像ラボ, Vol. 14, No. 7, pp. 68-71, July 2003
- [4] 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
- [5] “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
- [6] J. Shepherd, “Social factors in face recognition,” In G. Davies, H. Ellis, & J. Shepherd (Eds.), Perceiving and remembering faces. London: Academic Press (1981)
- [7] “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)
- [8] M. Turk and A. Pentland, “Eigenfaces for Recognition,” J. of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, pp. 71-86, 1991
- [9] 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
- [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