眼鏡の着脱にロバストな高速顔画像同定方式

学生員 平野 晃昭* 非会員 村口 孝明*
正員 中村 納*

A Fast Facial Identification System Adaptable for the Face with Spectacles

Teruaki Hirano*, Student Member, Takaaki Muraguchi*, Non-member, Osamu Nakamura*, Member

In this paper, a robust personal identification system which is adaptable for the face wearing spectacles is presented.

A human face identification system based on the isodensity maps has been already presented. It has been confirmed that the three dimensional personal features are well reflected in the isodensity maps. On the other hand, when the registered image is a face without spectacles and the input image is a face with spectacles, the shapes of the input isodensity maps are changed caused by the spectacles and are different from the registered isodensity maps. Then, the identification accuracy was deteriorated. From this point of view, the spectacles are removed from input faces, and we tried to improve the the matching accuracy.

Computer simulation using 50 people shows 95.2% correct discrimination accuracy.

キーワード：人物識別，顔画像，バイオメトリクス，眼鏡，テンプレートマッチング

Keywords: Personal identification, Facial image, Biometrics, Spectacles, Template matching

1. はじめに

顔画像を用いた人物識別方式は以下のような利点から，近年注目を集めている。

- 入力が容易である。
- 入力装置と利用者との間に物理的接触がない。

システムの実用化には，いくつか問題点が存在する。照明条件や，顔の傾きが識別精度を低下させる最も困難な問題である。

現在，ロバストな方式として環境の変動に対するいくつかの方式が提案されている^{(1)~(17)}。しかしながら，いずれも装置規模が大型になる，処理時間がかかる，識別精度や安定性，さらに信頼性といった点でまだ実用化の域に達していないというのが現状である。

筆者等は顔画像から得られる等濃線分布に基づく人物識別方式を既に提案している^{(22)~(25)}。この手法は，顔表面の3次元形状を明確に表した個人特有の等濃線分布により，本人および別人の識別が可能であるという利点がある。一方，人物の位置および姿勢の変化によって等濃線の形状が大きく変形し，回転した顔画像に対してはその識別精度が若干

低下するとともに，一人の人物を識別するためには数分の処理時間を要していたということが問題となっていた。従って，顔の傾きに対しては傾き顔の登録画像を追加し等濃線分布の補間処理，処理時間短縮に対しては線画像に適した高速テンプレートマッチングを提案した。

また従来では，眼鏡を掛けた人物の場合，登録画像および入力画像には両方とも眼鏡を掛けた顔画像として，照合を行っていた。しかしながら，近年，眼鏡はアクセサリとして意識されるようになってきており，複数個持っていたりコンタクトレンズと併用して，印象を変えようとする人が多くなってきた。従って，入力画像および登録画像において眼鏡の着脱があった場合，照合精度の低下することが考えられる。

以上の観点から，本論文では，以下の2点について検討を行ったのでそれについて報告する。

- (1) 高速テンプレートマッチングの更なる効率向上法およびシステム全体の処理時間短縮
- (2) 照合における眼鏡の着脱に対する耐性評価

以下，2.で本方式の概要を述べ，3.で高速テンプレートマッチングについて述べる。4.では，眼鏡フレーム除去について述べる。5.では提案手法の有効性を確認するため，処理時間短縮に対する評価，眼鏡の着脱に対する耐性評価および50人の被験者を対象に行った実験結果について述べ，6.でまとめる。

* 工学院大学

〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2

Kogakuin University

1-24-2, Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 163-8677

2. 方式の概要

本方式は以下の6段階で構成される。

- (1) 登録処理
- (2) 画像入力
- (3) 前処理(顔領域の抽出)
- (4) 等濃線分布の抽出
- (5) 候補画像の抽出と等濃線の補間処理
- (6) 照合および判定

〈2・1〉登録処理 顔が回転した場合、以下の点が問題点として挙げられる。

- 目、鼻、および口等の位置が変化し、顔表面の濃度分布が変わる。
- 傾き顔から得られた等濃線分布の形状は正面顔画像から得られた形状とは大きく異なるものとなる。
- 正面顔画像1枚のみで、あらゆる角度で入力された顔画像に対応することは一般的には不可能である(但し、上下・左右に5°程度の傾きには対応可能であることが文献⁽²³⁾に示されている)。

このような問題に対応可能とするため、実用的な観点から予め傾き顔を登録しておくことで、実用上、使い勝手という面で許容可能なシステムの構築は可能であると考えられる。

本方式では、カメラに対する顔の向きが最大20°までの任意に傾いた顔画像を1名につき25枚登録することとする。

〈2・2〉画像入力 入力画像は、横256×縦240画素のRGB各色256階調のカラー画像で面光源とCCDカメラを用いて動画像として入力される(図1(a))。動画像は1秒間に30フレームで撮影されている。

〈2・3〉前処理 入力画像中の顔領域は色情報(修正HSV表色系)と画像中の人物の動き情報(フレーム間差分)に基づいて抽出される⁽¹⁹⁾(図1(b))。

顔領域は、大きさ(約20,000画素)と位置の正規化が行われ、最終的な顔領域が得られる。

〈2・4〉等濃線分布の抽出 前処理で得られた顔領域の濃度ヒストグラムを濃度値の低い方からそれぞれ{10,15,10,5,5,10,15,30}%で8つの領域に分割する。各割合で分割されたヒストグラムを図2に示す。

分割されたヒストグラムに基づいて、顔領域は8値化される(図1(c))。その濃度境界線が等濃線となり、等濃線分布は抽出される(図1(d))。但し、分割の割合は以下の2つの特徴から識別が比較的安定に行われるように設定され、顔中心部(中間レベル)から多くの等濃線が抽出されている。

等濃線分布は以下のような特徴を持っている。

- 明るいレベル(第1,2レベル)の等濃線は顔の傾きの影響を比較的受けやすい。
- 暗いレベル(第7,8レベル)の等濃線は顔の傾きに対しては安定しているものの、別人同士でもその形状が類似する傾向がある。

図1 等濃線分布の抽出

Fig. 1. Extraction of isodensity maps.

図2 顔領域の濃度ヒストグラム

Fig. 2. Weighted division of the histogram into eight levels.

尚、前髪の変化が等濃線形状に影響を及ぼすので等濃線分布の額部は除去されている。

〈2・5〉照合候補画像の抽出

〈2・5・1〉候補画像の抽出 前記で登録した傾き顔の参照画像25枚全てを対象に入力画像との間でテンプレートマッチングを実施し、一致度を算出する。一致度の高い登録画像があれば、入力画像の等濃線分布の形状と似てことになる。従って、それは入力画像の顔の傾きに近いと判断できる。そこで、一致度が高い上位3枚の登録画像を照合候補画像として抽出する。

しかし、高速テンプレートマッチングを用いても25枚全てと照合を行うために、かなりの処理時間を要する。そこで効率的に候補画像を抽出し、処理時間を大幅に短縮するために、ピラミッド法を導入することとした。本方式では、原画像サイズ(256×240画素)の1/16および1/4に縮

図3 ピラミッド法

Fig. 3. The pyramid data structure.

小した等濃線分布を25枚の登録画像と一緒に予め登録することとする。

ただし、上記縮小処理でこれを行うと等濃線が途切れたり、等濃線がモザイク化してレベル毎に分離できなくなることが考えられる。従って、縮小処理は以下の手順で行う。

- (1) 等濃線分布をレベル毎に分離する。
- (2) 各レベルの等濃線を線形補間法で縮小する。
- (3) 画像を2値化する。
- (4) 元の等濃線分布に統合する。

候補画像の抽出処理は以下の手順で行われる。

- (1) 25枚の登録画像を対象に1/16サイズの等濃線分布を用いて、まず10枚の候補画像を抽出する。
- (2) 10枚の候補画像の中から1/4サイズの等濃線分布で5枚に絞り込む。
- (3) 5枚から、元のサイズで高速テンプレートマッチングを実施し、3枚の候補画像を抽出する。

このピラミッド法を導入することで、元のサイズで25枚全てと照合を行う処理時間の約1/2で候補画像のしぼり込みが可能である。

入力等濃線分布に対して登録画像から抽出された3枚の候補画像の例を図4に示す。

〈2.5.2〉等濃線の補間処理⁽²⁴⁾ ここでは、上記〈2.5.1〉の処理で抽出された3枚の画像を補間対象画像とする。2枚の補間対象画像を用い補間画像を作成することで、入力画像の等濃線分布の形状により近づけて一致度の向上を図る。この処理で補間画像は3枚作成される。筆者等は補間画像の作成に距離変換に基づく新しい手法を提案し、これを用いることとした。

図4の候補画像に対して補間処理が行われた3枚の補間等濃線分布を図5に示す。

〈2.6〉照合 等濃線分布には、個人特有の特徴が反映されており、この特徴パターンの一貫性あるいは相違性を算出することで人物の識別が可能である。

本方式では実地的な立場から比較的簡単な、

- テンプレートマッチングによる大局的照合
- 等濃線の密度情報による局所的照合

の2段階の照合を採用している。識別処理は以下のように実施する(図6参照)。

図4 候補画像

Fig. 4. Candidate images.

図5 図4の補間画像

Fig. 5. Interpolated images of Fig. 4.

大局的照合では一致度 H を算出している。一致度に基づいて本人、別人、またはリジェクションの判定を行う。ここでリジェクションと判定されたものは、次の局所的照合に移ることとする。大局的照合に対する判定は以下のしきい値に基づいて行う。

$$\begin{aligned} th_1 \leq H & : \text{本人} \\ th_2 < H < th_1 & : \text{リジェクション} \\ H \leq th_2 & : \text{別人} \end{aligned}$$

尚、しきい値は予備実験から、 $th_1 = 0.17$ および $th_2 = 0.13$

図 6 識別処理

Fig. 6. Discrimination process.

と設定した⁽²⁴⁾。

局所的照合では相違度 D を算出している。相違度に基づいて本人、別人、または再入力 of 判定を行う。再入力と判定されたものは、画像の入力から再びやり直すこととする。局所的照合に対する判定は以下のしきい値に基づいて行う。

$$\begin{aligned}
 D \leq th_3 & : \text{本人} \\
 th_3 < D < th_4 & : \text{再入力} \\
 th_4 \leq D & : \text{別人}
 \end{aligned}$$

なお、しきい値は大局的照合と同様に予備実験から $th_3 = 0.20$ および $th_4 = 0.26$ と設定した⁽²⁴⁾。

3. 高速テンプレートマッチング

等濃線分布の補間および照合処理において、一致度を算出する際、各レベル毎に入力および登録画像から得られた等濃線は、位置合わせする必要がある。

しかし、位置合わせのために行うテンプレートマッチングは比較的処理時間を要する作業である。従って、ここでは処理時間短縮のため SSDA 法⁽¹⁸⁾ (残差逐次検定法: Sequential Similarity Detection Algorithm) を導入し、更に線画像に適したアルゴリズムを採用することでマッチングの効率化を図る。

このアルゴリズムで、より早く残差加算が打ち切られるためには、加算曲線が急速な立ち上がり方をする必要がある。従って、以下のアルゴリズムを提案し導入することとした。

- 等濃線に沿った走査法
- 一致しない画像に対する残差の高速累積法の導入
- 2 段階マッチング

手順は以下の通りである。

- (1) 入力等濃線分布と登録等濃線分布は、各レベル毎に重ね合わされる。
- (2) 以下の式によって、2 画像間の各レベルの残差 $E_r^{(t)}$ の算出、およびしきい値 T_{hi} の更新処理が行われる。

$$\begin{aligned}
 E_r^{(t)}(\eta) &= \sum_{k=1}^r \{k - (k-1)\} \\
 &= r \quad (\text{when } k = 1 \sim r) \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$E_r^{(t)}(\eta) = \sum_{k=1}^r e^{(t)}(k) \quad (\text{when } k = 1 \sim r-1) \quad (2)$$

$$e^{(t)}(k) = \begin{cases} 0 & : \text{一致した場合} \\ N(x) & : \text{不一致の場合} \end{cases} \quad (3)$$

但し、 t は等濃線のレベルを表し、 r は入力等濃線を構成する画素数、 η はテンプレートのシフト回数である。また、 $N(x)$ は加算する残差の値である。

- (3) 算出された残差 $E_r^{(t)}$ がしきい値 T_{hi} 以上になった場合は、もはや最小値になることはないのでその時点以降での残差 $e^{(t)}(k)$ の加算は打ち切れ、つぎの重ね合わせに移ることとなる。但し、しきい値 T_{hi} の更新には式 (1) で算出された値を採用し、誤差の加算曲線としては式 (2) を採用するものとする。この処理を式 (4) に表す。

$$T_{hi} = E_r^{(t)}(\eta) \quad (\eta = 1 \sim 90) \quad (4)$$

但し、 $\eta = 1$ のとき $i = 1$ である。 i はしきい値の設定順を表している。従って、 i の番号と η の番号は $i = 1$ および $\eta = 1$ 以外のときは必ずしも 1 対 1 に対応しない。

尚、同一人物の等濃線形状のわずかな相違を吸収するために、 5×5 のマスク内に登録等濃線が 1 画素以上存在する場合、その画素は一致したとみなす (図 7)。

最終的に、しきい値 T_{hi} が最小となった重ね合わせが最適な位置合わせの結果となる。

- (4) 上記 (1) ~ (3) の処理は 2 段階マッチングで x および y 方向に最大 ± 13 画素ずらして行われる。第 1 段階では、 x, y 方向に最大 ± 12 画素、3 画素ごとにずらす。以降、第 1 段階目における残差が最小の重ね合わせを求める。第 2 段階では、第 1 段階で求められた最適な重ね合わせ結果を基に、更に x, y 方向に ± 1 画素づつずらしながら同様に位置が微調整される。位置合わせの最終的な結果は、第 2 段階における残差が最小値を示した時点の位置となる。この処理の模式図を図 8 に示す。

(3-1) 残差の高速累積法 処理を高速化するためには、残差は急速に累積させる必要がある。本手法の位置合わせで用いる画像は、背景と等濃線の 2 値画像で構成されている。一般に、画像を走査する際にはラスタ走査が用いられている。本手法では、画像の一致状態を見る際には、テンプレートの等濃線だけに注目しており、背景については注目する必要がない。従って、ラスタ走査では無駄な処理が多い。

重ね合わせがずれている場合、等濃線の各画素について順次画像間の誤差を加算していく際には、残差の累積が急

図7 等濃線的一致

Fig. 7. Matching of the input and registered isodensity line.

図8 2段階マッチング

Fig. 8. Template matching with two-phases.

速に増大することが期待される。一方、重ね合わせが最適の場合には、一致した画素が多いため、残差の累積率は非常に小さいと考えられる。

また、一致しない重ね合わせで等濃線に沿って走査した場合、不一致画素が連続して続くことが考えられる。従って、連続して不一致画素が続いた場合には加算する残差の数を、次第に大きくなるように重み付けした加算を行うことによって、加算曲線の急激な上昇が期待できる。

上記の走査において、不一致画素がある一定数 α 回連続

図9 残差の累積

Fig. 9. The increasing rate of the error according to discarded pixels.

する毎に、加算する残差の値 $N(x)$ を $1, 2, 3, \dots$ と累積的に増やしていくこととした。一致する画素が存在した時点で $N(x)$ を 1 に戻す。処理は以下の式 (5) で表される。

$$\begin{aligned} N(0) &= 0 \\ N(x) &= \rho \cdot \left[\frac{x}{\alpha} \right] + 1 \quad (x > 0) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 x は連続する不一致画素数、 $N(x)$ は現在加算されている残差、また $[\cdot]$ はガウス記号を意味し、 x を超えない最大の整数を表す。 ρ は残差の加算の重みであり、後の〈5・1〉で述べる評価から $\rho = 2$ と設定した。

尚、 $x = 0$ のときは不一致画素がないとき、すなわち画素が一致しているときである。従って、残差は加算されない。

定数 α は、予備実験から $\alpha = 35$ と設定された⁽²⁵⁾。この残差の累積方法について図9に示す。

4. 眼鏡フレーム領域の除去⁽²⁰⁾

顔画像の登録時に眼鏡を着用し、入力時に眼鏡を着用していない状況を想定した場合、眼鏡のフレームおよびレンズによって等濃線の形状が大きく変化して、照合精度に影響の出ることが考えられる。従って、登録画像に眼鏡が無い顔画像、入力画像に眼鏡を掛けた顔画像が入力された場合に、識別の安定性に影響が表れると考えられる。そのため、等濃線分布を抽出する前の顔画像から、眼鏡のフレームを除去し、除去された領域を補間し、眼鏡を掛けていない顔画像に近似させる。眼鏡領域が除去された顔画像から等濃線分布を抽出し照合を行う。

眼鏡フレーム除去は以下の3段階から成る。

- (1) 眼鏡フレーム候補領域の抽出
- (2) 眼鏡フレーム領域の補正
- (3) 眼鏡フレーム領域除去画像の生成

(1) では、顔領域から眼鏡の大局的な領域である眼鏡フ

フレーム候補画像を抽出する。(2)で眼鏡の形状の情報をもとに眼鏡フレーム候補領域を補正し、眼鏡フレーム領域を抽出する。(3)においては、眼鏡領域を周囲の肌色情報をもとに補間することで、最終的な眼鏡領域の除去が行われる。

〈4・1〉眼鏡フレーム候補領域の抽出 顔領域(図10(a))内では、眼鏡フレーム領域は修正彩度成分(Q_c)⁽²¹⁾(図10(b))および強度成分(I)(図10(c))に関して、肌とは違った色の線領域として表される。この特徴を利用すれば、微分処理を行うことで眼鏡領域を強調することはできるが、一方、この微分処理だけでは眼鏡領域以外のエッジ成分も同時に強調されることになる。従って、以下の2段階の手法で眼鏡フレームが強調された領域を抽出する。

- 線領域強調処理による眼鏡フレームの大局的な抽出(図10(d)参照)

- 微分処理による眼鏡形状の詳細な抽出(図10(e)参照)

以上の処理で得られた画像の論理積の最大連結成分を、眼鏡フレーム候補領域(図10(f))とする。

〈4・2〉眼鏡フレーム領域の補正 ここでは、以下の3段階の処理で上記〈4・1〉で得られた眼鏡フレーム候補領域を補正し、最終的に抽出されている領域を眼鏡フレーム領域とする。

- (1) 眼鏡フレームの垂直方向の幅の限定
- (2) 眼鏡フレーム左右両端の除去
- (3) 半円形テンプレートによるリム外側の補正

〈4・2・1〉眼鏡フレームの垂直方向の幅の限定 眼鏡フレームのブリッジ(眼鏡フレームの中央部分)を基準として、眼鏡フレーム候補領域の右の領域を“右眼鏡フレーム領域”と呼び、左の領域を“左眼鏡フレーム領域”と呼ぶことにする。

左右の“眼鏡フレーム領域”の縦方向の範囲をもう一方の眼鏡フレーム領域の縦方向の情報を手掛かりとして限定する。この処理により、左右眼鏡フレーム領域のうち片方が眉とつながっている場合には、この眉の除去が可能となる。

〈4・2・2〉眼鏡フレーム左右両端の除去 眼鏡フレームの左右の端が耳や髪とつながっている場合がある。この問題に対処するため、左右眼鏡フレーム領域のそれぞれの領域に対し垂直方向の幅を手掛かりに耳や髪領域の除去を行う。

〈4・2・3〉半円形テンプレートによるリム外側の補正 眼鏡フレーム候補領域の外側の領域は光源の影響等で、欠けている場合が多い。そこで、右および左眼鏡フレーム領域に対しそれぞれ、眼鏡フレーム候補領域の上端(x_c, y_t)、および下端(x_c, y_b)を通り、ブリッジ x_{bridge} の外側に対して弧を描く半円形のテンプレートを作成する(図11)。テンプレートの作成式は以下の通りである。

$$(x - x_c)^2 + \left(y - \frac{y_t + y_b}{2}\right)^2 = \left(\frac{y_b - y_t}{2}\right)^2 \dots (6)$$

但し、

図10 眼鏡フレーム候補領域の抽出
Fig.10. Extraction of candidate area of the spectacles.

$$\begin{aligned} x \leq x_c \quad (x_c \leq x_{bridge}) & \dots \dots \dots (7) \\ x > x_c \quad (x_c > x_{bridge}) & \end{aligned}$$

である。

ここで、テンプレートに含まれる眼鏡フレーム候補領域の画素数が最大となると、そのテンプレートを眼鏡フレーム候補領域に加える。また、眼鏡フレーム強調画像のうち、テンプレートに含まれる連結領域をその中に含む連結領域全体も眼鏡フレーム候補領域に加える。この処理によって眼鏡フレームの形状が角ばった形状の場合でも正しくそのフレームを抽出することができる(図12(b))。

〈4・3〉眼鏡フレーム領域の除去と補間画像の生成 まず、抽出された眼鏡フレーム領域を用いて、顔領域から眼鏡領域の除去を行う(図13(a))。次に、顔の肌色領域は濃度値が連続的で、しかもなだらかに変化している。従って、周囲の肌色情報を基に除去された眼鏡領域内の画素値を計算し、除去された眼鏡領域の補間を行う。除去された眼鏡領域の補間画像を図13(b)に示す。

眼鏡フレームが顔に影を落す場合、補間処理で影領域は平滑化され、その影響は軽減される。しかし、眼鏡フレームの種類および顔の向きによって影が多く残る場合がある。その場合については、今後眼鏡フレーム周辺の影領域を検出し除去および平滑化を行う手法が必要である。

図 11 半円形テンプレート

Fig. 11. Half circle template.

(a) Parts of spectacles.

(b) Spectacle's area.

図 12 眼鏡フレーム領域の抽出

Fig. 12. Extraction of spectacles.

(a) Facial image after removing spectacles.

(b) Facial image after spectacles are interpolated.

図 13 眼鏡フレーム領域の補間

Fig. 13. Generation of the face without spectacles.

5. 実験結果および考察

〈5・1〉 定数 ρ の評価 上記〈3・1〉では、残差の高速累積法について述べた。本人同士 10 組、別人同士 10 組の等濃線分布の重ね合わせで定数 ρ を 1 から 5 まで変化させ、定数 ρ を導入しない方式との比較を行った。実験結果を図 14 および 15 に示す。尚、定数 ρ を導入しない方式は $\rho = 1$ にした場合に相当する。

図 14 および 15 から、 ρ を増加しても一致度に大きな低下はみられなかった。一方、別人同士の処理時間短縮率は本人同士と比べ大きいことが確認できた。これは、一致しない重ね合わせでの SSDA 法の短縮効果が、残差の重み係数である定数 ρ によってより高められているのわかる。本論文では一致度を示す曲線と処理時間の短縮率を示す曲線のトレード・オフの関係および識別の安定性を考慮し、 $\rho = 2$ と設定した。

図 14 定数 ρ の評価 (本人同士)Fig. 14. Estimation of constant ρ (Same person). 図 15 定数 ρ の評価 (別人同士)Fig. 15. Estimation of constant ρ (Different people).

別人同士の重ね合わせで、 α 、 ρ と残差の累積率の関係を一例として図 16 に示す。

〈5・2〉 処理時間の評価 上記 3. で SSDA 法を導入したテンプレートマッチングについて述べた。処理時間の短縮効果を確認するために、その CPU タイムを計り、従来手法⁽²⁴⁾との比較を行った。尚、計測は Pentium III 1GHz の CPU、512MB のメモリを搭載した計算機で行った。

定数 ρ の導入効果を確認するために、図 14、および 15 から ρ を導入しない手法⁽²⁵⁾ ($\rho = 1$) との比較を行った。短縮率は、本人同士では 4.4%、別人同士では 9.4%であった。これは、一致しないマッチングの際の残差の累積率を増大させる手法であるため、別人同士でのマッチングにおける短縮率の方が本人同士よりも大きいことが確認できる。

本人同士 20 組の等濃線分布を用いて、各レベル毎に処理時間を計測した。結果を図 17 に示す。

前記 3. で提案した手法と従来手法⁽²⁴⁾との比較において、処理時間短縮の効果を明確にするために従来手法の処理時間から、以下の式で短縮時間の推定を行った。

$$T_e = \frac{\text{提案方式のシフト回数} (9 \times 9 + 3 \times 3)}{\text{従来のシフト回数} (31 \times 31)} \cdot T_p \quad (8)$$

尚、 T_e は推定処理時間、 T_p は従来手法での処理時間を示している。位置合わせのための画像のシフト数は、従来手

図 16 残差の累積率の増大
Fig. 16. Accumulation of errors.

法では上下左右に 15 画素ずつ移動していたので、シフト数は 31×31 回であるが、提案手法では図 8 から、 $9 \times 9 + 3 \times 3$ 回となる。

図 17 の結果から、処理時間は従来手法の約 10% にまで短縮され、しかも位置合わせは適切に行われていることが確認された。推定処理時間ともほぼ一致し、等濃線に沿った走査手法で若干早く収束したと考えられる。従来手法と推定処理時間との差は 2 段階マッチングの効果によるもので、更に推定処理時間と本手法との差は SSDA 法の導入効果によるものと考えられる。

入力等濃線分布と登録等濃線分布とを照合した場合、従来手法では約 5 秒かかっていたものに対し、提案手法では約 0.4 秒で行われる。従って、人物一人あたりの識別では、従来処理時間で約 2 分半程度要していたのに対し、提案手法では約 12.4 (0.4 秒 $\times$ 31 組 (登録画像 (25) + 候補画像 (3) + 補間画像 (3))) 秒 (約 1/12) まで短縮されたことになる。

また、 $\langle 2.5 \cdot 1 \rangle$ で述べたピラミッド法を導入したことで、全体としてこの処理時間は更に約 6.1 秒 (25 枚 $\times$ 0.03 秒 + 10 枚 $\times$ 0.33 秒 + 5 枚 $\times$ 0.40 秒) までに短縮された。

〈5・3〉 識別結果 上記 2. で示した手法に基づき、識別実験を行った。被験者 50 人 (男性 36 人 (そのうち眼鏡あり 11 人)、女性 14 人)、1,300 枚 (各人 26 枚ずつ) の顔画像を用いて行った。人物の組み合わせは、同一人物同士 50 組、異なる人物同士 2,450 組の合計 2,500 組であり、顔画像一枚ずつ (フレーム画像毎に) の組み合わせでみると、同一人物画像同士 1,400 組、異なる人物画像同士 61,250 組である。実験の結果、誤判定されたものが、同一人物同士で 3 組、異なる人物同士で 68 組、再入力と判定されたものが、異なる人物同士で 50 組存在した。

表 1 より、全 2,500 組に対して、2,379 組を正識別し、約 95.2% の正識別率を得た。

上記の識別結果から、50 組中 47 組が本人であると認識された。47 組中 13 組が補間処理で一致度および相違度は共に向上した。その中に、もし補間処理が行われていなか

図 17 処理時間の比較
Fig. 17. Comparison of processing time.

表 1 識別結果

Table 1. Discrimination results.

Combination	Correct	Re-entry	False
Same person	47/50 (94.0%)	0/50 (0.0%)	3/50 (6.0%)
Different people	2332/2450 (95.2%)	50/2450 (2.0%)	68/2450 (2.8%)

れば誤識別と判断された画像が 4 組存在した。

一方、同一人物同士 50 組中誤識別された 3 組に対しては、その主な原因として、補間処理を用いても入力画像の顔の傾きに近づけられなかったことが挙げられる。その理由は、登録方式にあった。すなわち登録画像に極端な偏りがあったために顔の全方向に対し十分対応しきれなかったためである。従って、傾き顔を均等に、しかも自動的に登録するシステムを組み込む必要があり、これが今後の課題の一つである。

また、異なる人物同士の識別において再入力と判定された 50 組、および誤判定された 68 組に対する主な原因は、本人を判定するしきい値が低く設定されたためであると考えられる。再入力と判定された組合せでは、別人同士でも顔の向きが一致し、ある程度等濃線の形状が近似していた。このことから、本人同士の一致度および相違度をより向上させ、本人と別人との分離性をさらに改善する手法の検討が必要である。

図 18 眼鏡領域の除去例

Fig. 18. Removal of spectacles.

〈5・4〉眼鏡の着脱の耐性評価 上記 4. で示した手法に基づいて眼鏡の除去を行った画像例およびその等濃線分布を図 18 に示す。

被験者 18 人の顔画像を用いて照合実験を行い、眼鏡をかけた顔画像の識別耐性評価を行った。本論文では、照合に用いる画像は正面顔および同じ方向で同程度に傾いた顔画像を用いて実験を行った。眼鏡を除去しないで照合を行った一致度の平均と標準偏差および眼鏡領域を除去した後に照合を行った場合の一致度の平均との比較を図 19 に示す。

眼鏡領域の除去を行うことで、等濃線レベル 2, 3, および 4 で一致度の大きな向上が確認できる。これは、眼鏡のフレームは、レベル 2, 3, 4 に相当する顔の高さであることを示している。すなわち、入力画像は眼鏡除去処理で眼鏡を着用していない場合の顔により近づけられたということを示している。実際に図 18(a) および (c) から、眼鏡による影響は減少したことが確認できる。しかし、図 18(c) と (e) の比較から眼鏡レンズの鏡面反射の影響が確認できる。この影響によって顔領域の濃度ヒストグラムの分布が眼鏡

図 19 一致度の比較

Fig. 19. Mean matching ratio for the spectacles.

表 2 眼鏡除去を行った本人同士の識別結果

Table 2. Discrimination results for images eliminated the spectacles.

Combination	Correct	Rejection	False
With the spectacles ($th_1 = 0.17$)	17/18 (94.4%)	1/18 (5.6%)	0/18 (0.0%)
After eliminating the spectacles ($th_1 = 0.18$)	17/18 (94.4%)	1/18 (5.6%)	0/18 (0.0%)
After eliminating the spectacles ($th_1 = 0.31$)	16/18 (88.9%)	2/18 (11.1%)	0/18 (0.0%)

なしの顔領域と比べて異なってくるため、等濃線の形状も違い照合度の向上が低い原因となっている。従って、鏡面反射のある場合この影響を軽減するため反射箇所を検出し、何らかの補正を行う必要がある。これは今後の課題である。

現在大局的照合において、同一人物として識別するためのしきい値 th_1 は $th_1 = 0.17$ と設定されている。このしきい値で本人同士での識別を行った場合、18 組中 17 組が本人、18 組中 1 組がリジェクションと判定された。この識別結果を維持したままでしきい値 th_1 は、 $th_1 = 0.18$ まで設定可能である。一方、眼鏡を除去した場合の一致度は図 19 から 0.40 付近に集中していることが分かる。識別率は若干低下するが、ほぼ同程度の識別率を維持したままでしきい値 th_1 は $th_1 = 0.31$ まで引き上げることが可能である(表 2 参照)。すなわち、同じ正識別であっても従来手法においてしきい値付近で本人と正識別されていた組み合わせに対しては、このしきい値 th_1 の設定にかなりの余裕が出てきたことになる。一方、別人同士の組み合わせでは、別人を本人と間違えて受け入れる確率は低くなる。従って眼鏡除去を行うことで、従来よりもかなり安定な識別が可能となる。また、従来手法において眼鏡を着用した画像の一致度が本人と識別するしきい値よりも低い値が算出された場合、この改善効果により正識別され識別率の向上が期待できる。

6. まとめ

本論文では、傾き顔画像にも対応可能な人物識別方式の処理時間の短縮手法および眼鏡を着用した顔画像の識別耐性評価について検討し、その結果について述べた。同一人物同士50組、異なる人物同士2,450組での識別実験では、約95.2%の正識別率で本人および別人と認識された。実験結果より、傾き顔に対して、高速に識別可能であることが確認され、提案手法では従来⁽²⁴⁾の約1/30の処理時間に短縮可能となった。また、眼鏡フレームの除去処理を行うことでしきい値の設定がかなり余裕をもって行えることを示した。室内で使用する場合を想定したとき、本手法では良好な結果が得られた。しかし、等濃線分布は外光に対して敏感であるため、照明条件にもロバストな手法を検討し、より汎用性を高める必要がある。今後は、さらに被験者数を増やし、アルゴリズムの改良を図るとともに、より実用的な人物識別方式の開発を行う予定である。

(平成14年7月25日受付、平成15年3月3日再受付)

文 献

- (1) "FaceIt", <http://www.faceit.com>, VISIONICS Corp
- (2) S. Morishima, Y. Yagi, M. Kaneko, H. Harashima, M. Yachida, and F. Hara: "Construction of Standard Software for Face Recognition and Synthesis", *Technical report of IEICE*, PRMU97-282, pp.129-136 (1998) (in Japanese)
森島繁生・八木康史・金子正秀・原島 博・谷内田正彦・原文雄:「顔の認識・合成のための標準ソフトウェアの開発」, 信学技報, PRMU97-282, pp.129-136 (1998)
- (3) M. Kawade and S. Hosoi: "Non-Cooperative Face Recognition", *SSII 2002*, C-2, pp.51-54 (1999) (in Japanese)
川出・細井: "Non-Cooperative Face Recognition", 第5回画像センシングシンポジウム講演論文集, C-2, pp.51-54 (1999)
- (4) O. Yamaguchi and K. Fukui: "Smartface" - A Robust Face Recognition System under Varying Facial Pose and Expression", *IEICE Trans. INF & SYST. D-II*, Vol.J84-D-II, No.6, pp.1045-1052 (2001-6) (in Japanese)
山口 修・福井和広:「顔向きや表情の変化にロバストな顔認識システム "smartface"」, 信学論 D-II, **J84-D-II**, 6, pp.1045-1052 (2001-6)
- (5) B. Moghaddam and A. Pentland: "Probabilistic Visual Learning for Object Representation", *IEEE Trans. PAMI*, Vol.19, No.7, pp.696-710 (1997)
- (6) P. N. Belhumeur, J. P. Hespanha, and D. J. Kriegman: "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection", *IEEE Trans. PAMI*, Vol.19, No.7, pp.711-720 (1997)
- (7) C. Liu and H. Wechsler: "Evolutionary Pursuit and Its Application to Face Recognition", *IEEE Trans. PAMI*, Vol.22, No.6, pp.570-582 (2000)
- (8) J. B. Arie and D. Nandy: "A Volumetric/Iconic Frequency Domain Representation for Objects With Application for Pose Invariant Face Recognition", *IEEE Trans. PAMI*, Vol.20, No.5 pp.449-457 (1998)
- (9) Y. Adini, Y. Moses, and S. Ullman: "Face Recognition: The Problem of Compensating for Changes in Illumination Direction", *IEEE Trans. PAMI*, Vol.19, No.7, pp.721-732 (1997)
- (10) K. Lam and H. Yan: "An Analytic-to-Holistic Approach for Face Recognition Based on a Single Frontal View", *IEEE Trans. PAMI*, Vol.20, No.7, pp.673-686 (1998)
- (11) R. P. Wurtz: "Object Recognition Robust Under Translations, Deformations, and Changes in Background", *IEEE Trans. PAMI*, Vol.19, No.7, pp.769-775 (1997)
- (12) D. Pramadihanto, Y. Iwai, and M. Yachida: "Integrated Person Identification and Expression Recognition from Facial Images", *IEICE Trans. INF & SYST.*, Vol.E84-D, No.7, pp.856-866 (2001)
- (13) K. Hotta, T. Mishima, and T. Kurita: "Scale Invariant Face Detection and Classification Method Using Shift Invariant Features Extracted from Log-Polar Image", *IEICE Trans. INF & SYST.*, Vol.E84-D, No.7, pp.867-878 (2001)
- (14) R. Sakai, N. Komori, and M. Takamatsu: "Person Authentication Scheme with Image of Face Casted by Light from Various Directions", *IEICE Trans. INF & SYST.*, Vol.E84-D, No.7, pp.885-888 (2001)
- (15) S. Shimada, H. Koike, A. Tomono, and K. Ishii: "A Method of Constructing a Dictionary for Facial Image Recognition Independent of Facial Direction", *IEICE Trans. INF & SYST. D-II*, Vol.J78-D-II, No.11, pp.1639-1649 (1995-11) (in Japanese)
島田 聡・小池秀樹・伴野 明・石井健一郎:「顔の向きによらない人物識別のための辞書構成法」, 信学論 D-II, **J78-D-II**, 11, pp.1639-1649 (1995-11)
- (16) M. Kosugi and K. Yamashita: "Automated Identification System of Person Robust for Face Direction by Using Gray-Level Mosaic of a Face", *IEICE Trans. INF & SYST. D-II*, **J80-D-II**, No.8, pp.2244-2247 (1997) (in Japanese)
小杉 信・山下幸治:「濃淡モザイク特徴を用いた顔の向きにロバストな自動個人識別システム」, 信学論, **J80-D-II**, No.8, pp.2244-2247 (1997)
- (17) S. Tsutsumi and M. Nakajima: "Human Face Verification Using 3D-gray-scale Image - Method for Easing the Restriction on Facial Direction -", *Technical report of IEICE*, PRMU97-49, pp.9-16 (1997) (in Japanese)
堤 正平・中島真人:「3次元濃淡顔画像を用いた個人照合-顔の向きにおける制約条件の緩和-」, 信学技報, PRMU97-49, pp.9-16 (1997)
- (18) T. Minami and O. Nakamura: "Image Science and Technology", pp.133-135, Corona Publishing CO. (in Japanese)
南 敏・中村 納:画像工学-画像のエレクトロニクス-, pp.133-135, コロナ社 ()
- (19) M. Ikeda, H. Ebine, Y. Shiga, and O. Nakamura: "The extracting method of facial area from video images", *2000 IEICE General Conf.*, D-12-58, p.228 (2000) (in Japanese)
池田美鈴・海老根秀之・志賀泰博・中村 納:「動画画像からの顔領域抽出法」, 2000年信学全大講演論文集, D-12-58, p.228 (2000)
- (20) T. Muraguchi, H. Ebine, M. Ikeda, and O. Nakamura, "On the Isolation of Spectacles from Faces for the Recognition of Facial Expressions and Personal Identification", *CCECE2002*, Vol.2, pp.926-933 (2002)
- (21) S. Matsushashi, K. Fujimoto, O. Nakamura, and T. Minami: "A Proposal of the Modified HSV Colour System Suitable for Human Face Extraction", *The Journal of the ITEJ*, Vol.49, No.6, pp.787-797 (1995-6) (in Japanese)
松橋 聡・藤本研司・中村 納・南 敏:「顔領域抽出に有効な修正 HSV 表色系の提案」, テレビジョン学誌, **49**, 6, pp.787-797 (1995-6)
- (22) O. Nakamura, S. Mathur, and T. Minami: "Identification of Human Faces Based on Isodensity Maps", *Pattern Recognition*, Vol.24, No.3, pp.263-272 (1991)
- (23) K. Ueno, M. Kato, O. Nakamura, and T. Minami: "Identification of Front-View Facial Images Based on Isodensity maps", *IEICE Trans. INF & SYST. D-II*, Vol.J76-D-II, No.3, pp.494-506 (1993-3) (in Japanese)
上野邦和・加藤雅弘・中村 納・南 敏:「等濃線分布に基づく正面顔画像の識別」, 信学論, **J76-D-II**, 3, pp.494-506 (1993-3)
- (24) T. Hirano and O. Nakamura, "A Robust Personal Identification System for Angled Facial Images", *Trans. IEE of Japan*, Vol.120-C, No.6, pp.800-808 (2000-6) (in Japanese)
平野晃昭・中村 納:「顔の回転にロバストな個人識別方式」, 電学論 C, **120-C**, 6, pp.800-808 (2000-6)
- (25) T. Hirano, M. Ikeda, and O. Nakamura: "Facial Identification System Based on High Speed Matching Algorithm for Isodensity Lines", *Trans. IEE of Japan*, Vol.122-C, No.5, pp.816-824 (2002-5) (in Japanese)
平野晃昭・池田美鈴・中村 納:「等濃線分布の高速テンプレートマッチングに基づく顔画像照合方式」, 電学論 C, **122**, 5, pp.816-824 (2002-5)

平 野 晃 昭 (学生員) 1999 年 3 月 工学院大学工学部電子工学科情報工学コース卒業。2001 年 3 月 同大学院工学研究科情報学専攻修士課程修了。現在, 同大学院工学研究科情報学専攻博士後期課程在学中。画像処理, パターン認識の研究に従事。電子情報通信学会, 各学生会員。

村 口 孝 明 (非会員) 2001 年 3 月 工学院大学工学部電子工学科情報工学コース卒業。現在, 同大学院工学研究科情報学専攻修士課程在学中。画像処理, パターン認識の研究に従事。電子情報通信学会 学生会員。

中 村 納 (正員) 1969 年 3 月 工学院大学工学部電子工学科卒業。1971 年 3 月 同大学院工学研究科修士課程修了。同年, 同大学助手となる。以来, 学習理論, 画像処理, 画像符号化等の研究に従事。1988 年 4 月~1989 年 3 月, ケベック大招聘教授。1992 年工学院大学教授。工学博士。画像電子学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会, 映像情報メディア学会, IEEE, Pattern

Recognition Society, 日本顔学会, 各会員。