等濃線分布に基づく傾きにロバストな高速顔同定方式

非会員 平 野 晃 昭 (工学院大学)

正 員 中 村 納 (工学院大学)

A robust high speed personal identification system for angled faces.

Teruaki Hirano, Non-member, Osamu Nakamura, Member (Kogakuin University)

In this paper, a robust personal identification system which is adaptable for either rotated or tilted faces is presented. In the proposed method, the 25 facial images which are taken with different angles are registered in the database as reference images. The similarity of an input image is first examined between all registered images and the three facial images, which are similar to the input image, are then extracted as the candidate facial images. The isodensity maps, which is expected to have the maximum similarity to the input image, is created by the interpolation between two candidate images and the input facial image is judged identical or not with the interpolated images. Computer simulation using 40 people shows 94.6% correct discrimination accuracy rate. From the experimental results, the prospects of using this method are very encouraging.

キーワード：人物識別，等濃線分布，傾き顔，処理時間短縮，SSDA 法

1. はじめに

顔は最も身近な認識対象の一つであり，顔写真付きの所持品を用いて人物識別が行われていることから，民生レベルでのセキュリティへの利用価値は非常に高いといえる。近年，顔画像を用いた個人識別システムの実用化は，各所で検討されている⁽¹⁾⁻⁽⁸⁾。

筆者等は顔画像から得られる等濃線分布を用いた人物識別方式を既に提案している。しかし，人物の位置および姿勢の変化によって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いうことが一方では問題となっていた⁽¹⁰⁾。本論文では，本方式が室内環境の入退室管理で適用される場合を想定している。従って，照明環境は予め想定可能であるが，システムにおいては決められたタイミングで自動的に顔画像が取り込まれるため入力顔画像の方向は多様になり，特定が困難である。また，一人物を識別するために数分の処理時間がかかっていた⁽¹⁴⁾。従って，これらの問題が実用化する上での重要な課題として挙げられていた。

以上の観点から，本論文では正面顔以外の顔画像にも対応可能な等濃線分布に基づく個人識別システム，およびその処理時間短縮に関する検討結果について報告する。

以下，2. で本方式の概要を述べ，3. では本方式の有効性を確認するため，処理時間短縮に対する評価および40人の被験者を対象に行った実験結果について述べる。

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全く異なるものになる。
- 従って，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⁽¹⁰⁾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(図1(a))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として入力される。

〈2・3〉 前 処 理 入力画像中の顔領域は色情報(修正 HSV 表色系⁽¹¹⁾)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⁽¹³⁾。

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に対して、顔の起伏を 2 次元的に反映させる等濃線分布(図 1(b))を抽出する。

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.

〈2・5〉 位置合わせ 後の〈2・6・1〉で述べる候補画像の抽出、〈2・6・2〉で述べる位置合わせ、および〈2・7・1〉の大局的照合において一致度を算出する際に、各レベルの等濃線の位置合わせを行う必要がある。

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处理時間のかかる作業である。ここでは処理時間短縮のため SSDA 法⁽¹²⁾と 2 段階マッチングの 2 つの手法を導入して効率化を図っている。

手順は以下の通りである。

- (1) 入力等濃線分布と、登録等濃線分布を各レベル毎に重ね合わせる。
- (2) 入力等濃線に沿いながら、2 つの画像間で各レベルの残差を以下の式によって算出する。算出された値をしきい値 TH とする。

$$E_r^{(t)} = \sum_{k=1}^r |I^{(t)}(l_k, m_k) - R^{(t)}(l_k, m_k)| \quad (1)$$

但し、 $I^{(t)}(l_k, m_k)$ は t レベルの入力等濃線を構成する画素値、 $R^{(t)}(l_k, m_k)$ は t レベルの登録画像を構成する画素値である。 r は入力等濃線を構成する画素数である。

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。

また、等濃線に沿った走査を行うことで、一致していない場合残差の累積率は向上し、しきい値を越えやすくなる。

- (3) 上記(1)および(2)の処理を次の 2 段階の処理で実施し、最適な位置合わせを行う(図 2 参照)。

- (a) 上下左右に最大 12 画素、2 画素毎にずらし、しきい値 TH を超えた時点で残差の算出を打ち切る。

また、しきい値を超えない場合、算出された残差を新たなしきい値として、しきい値を更新する。

- (b) 上記(a)の処理で、残差 $E_r^{(t)}$ が最小となった時点の重ね合わせを基に、さらに上下左右に 1 画素ずつずらしながら同様の処理を実施し、位置合わせの微調整を行う。最終的な位置合わせの結果は、この残差が最小値のときの重ね合わせとなる。

図 2 2 段階マッチング

Fig. 2. Template matching with two phases.

〈2・6〉 候補画像の抽出と等濃線の補間処理

〈2・6・1〉 候補画像の抽出 前記〈2・1〉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いることになる。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。図 1(b) の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 3 に示す。

図 3 候補画像

Fig. 3. Candidate images.

〈2・6・2〉 等濃線分布の補間 ここでは、上記〈2・6・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。等濃線を補間するためには、対象となる等濃線の特徴をある程度保ち、かつ歪みのない形状の等濃線を作成する必要がある。線画像の補間処理としては他にも CG 等で用いられるモーフィングが挙げられるが、その手法は図形から抽出した対応点を基に補間画像を作成するため形状に歪みが生ずる可能性があると考えられる。従って、筆者等は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。

等濃線分布の補間は、各レベル毎に対応する 2 つの等濃度領域に対してそれぞれ距離変換して得られる画像を基にして行われる。距離変換は図形と背景から成る 2 値画像に対して、図形を構成する各画素に背景からの最小距離値を割り当てる操作である。距離は街区画距離 (d_4 距離) で定義している。以後、距離変換を施した画像を距離画像と呼ぶことにする。

補間処理は以下の手順で実施する。

- (1) 補間対象画像の各レベル毎の等濃度領域 (図 4(a), (b)) に距離変換を施す。

- (2) 〈2・5〉のテンプレートマッチングで各レベルの等濃線の位置を微調整し、位置合わせを行う。

尚、前記〈2・3〉の正規化処理で等濃線分布は画像の中心に位置するように既に位置合わせは行われているが、補間対象画像は顔の向きがそれぞれ異なるので、対応する双方の等濃線の位置は若干ずれている場合がある。従って、この処理はその補正を行うための処理である。

- (3) 上記 (2) で重ね合わされた画像を基に等濃度領域の共通領域 (図 4(c)) を抽出する。

図 4 等濃度領域と共通領域の画像例

Fig. 4. Example of isodensity areas.

- (4) 共通領域の輪郭を構成する画素 $P(i, j)$ に注目する。同一座標 $Q(i, j)$ にある重ね合わせた距離画像の距離値 $a(i, j)$ に基づいて、補間等濃線が双方の等濃線の中間に位置するように半径が R の円盤 (この場合はひし形) を共通領域に重ねる。半径 R は以下の式 (2) で表される。

$$R = \left\lceil \frac{a(i, j) + 1}{2} \right\rceil \dots\dots\dots (2)$$

但し、 $\lceil \cdot \rceil$ はガウス記号である。この処理を模式的に示したのが図 5 である。

- (5) 共通領域の輪郭に沿って上記 (4) の処理を行い、共通領域を円盤によって拡大していく。全ての共通領域に対して、拡大された領域が補間等濃度領域となる。
- (6) 以上 (1) から (5) までの処理で、求められた各レベルの補間等濃度領域に対して距離変換を施す。距離が “1” となる画素が補間された等濃線を構成する画素となる。
- (7) 各レベル毎に補間された等濃線を 1 つに統合し、補間等濃線分布が作成される。

最後に、額部を除去して照合に用いる等濃線を

図 5 円盤の重ね合わせ例

Fig. 5. An example of overlapping of the disk.

得る。

以上の処理過程を模式的に示したのが図 6 である。

図 6 補間処理

Fig. 6. Process of the interpolation.

図 3 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 7 に示す。

〈2・7〉 照合および判定⁽¹⁴⁾ 前記〈2・4〉までの処理で抽出された等濃線分布には、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致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。

図 7 補間等濃線分布

Fig. 7. Interpolated images of Fig. 4.

本方式では実際の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。

〈2・7・1〉 大局的照合 上記〈2・5〉において位置合わせを行った結果を用いて、顔の全体的な類似性を表す一致度 H を算出する。

入力等濃線の各画素を注目画素とした 5×5 のウィンドウ内に、登録画像の画素が 1 画素以上存在した場合、入力等濃線と登録等濃線の画素は一致したものとする。しかし、位置合わせされた画像中には本来一致するはずのない画素が偶然に一致したと見なされる短線分を含んでいる場合がある。従って、短線分を除去した後の最大一致画素数を基に最終的照合に用いる一致度 H は算出される。尚、短線分除去の処理を図 8 に示す。

〈2・7・2〉 密度情報による局所的照合 顔表面の起伏を反映する等濃線分布の局所的な密度情報を基に相違度 D を算出する。

処理手順は次の通りである。

- (1) 等濃線分布を 32×30 のブロック (各ブロック 8×8 画素) に分割する。
- (2) 各ブロックに存在する等濃線のレベルを 8 ビットのビット列 (存在するレベルのビットを “1” とする) で表現し、これを等濃線の密度情報とする。例えば、第 7, 8 レベルに対応する上位ビットが “1” の場合には、そのブロックは顔の低い箇所 (輪郭部周辺) に位置しており、第 1, 2 レベルに対応する下位ビットが “1” の場合には、その逆であると考えることができる。
- (3) 登録等濃線と入力等濃線の対応するブロック間で、

図 8 短線分の除去

Fig. 8. Elimination of the short segments of iso-density lines.

そのブロックに存在する等濃線の相違を密度情報（ビット列）のハミング距離で表す。

- (4) 各ブロックで求めたハミング距離の平均値を登録等濃線と入力等濃線の相違度 D と定義する。相違度の算出処理の例を図 9 に示す。

図 9 相違度の算出

Fig. 9. Difference of local compactness of iso-density lines.

〈2・7・3〉 識別処理 上記〈2・6・1〉で抽出された 3 枚の候補画像と〈2・6・2〉で作成された 3 枚の補間等濃線分布を対象として、入力画像との間で 2 段階の照合を実施する。算出された一致度 H または相違度 D に基づいて本人、別人、または再入力のパターンを行う。大域的照合において、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。再入力と判定された場合は、画像の入力から再びやり直すこととする。

識別は以下のように実施する。

- 大域的照合 (一致度: H)
 - $th_1 \leq H$: 本人
 - $th_2 < H < th_1$: リジェクション
 - $H \leq th_2$: 別人
- 局所的照合 (相違度: D)
 - $D \leq th_3$: 本人
 - $th_3 < D < th_4$: 再入力
 - $th_4 \leq D$: 別人

識別に用いるしきい値は、被験者 10 人を対象に本人・別人同士の組み合わせの予備実験（同一人物同士 10 組、異なる人物同士 90 組）から、第 1 段階目の照合に対するしきい値として $th_1 = 0.17$ および $th_2 = 0.13$ 、第 2 段階目の照合に対するしきい値として $th_3 = 0.20$ および $th_4 = 0.26$ が設定された。

3. 実験結果および評価

〈3・1〉 処理時間 上記〈2・5〉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。処理時間の短縮を確認するために、その CPU タイムを計り、従来手法⁽¹⁴⁾との比較を行った。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 10 に示す。

尚、計測は PentiumII 400MHz の CPU、256MB のメモリを搭載した計算機で行った。

前記〈2・5〉で提案した手法と従来手法との比較において、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。

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

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。図 10 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 法の効果によるものと考えられる。従来、人物一人あたりの識別時間が 4 分半程度要していたのに対し、提案手法では約 40 秒まで短縮されたことになる。

位置合わせのための画像のシフト数は、従来手法では上下左右に 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 2 から、 $9 \times 9 + 3 \times 3$ 回となる。

図 10 処理時間の比較

Fig. 10. Compare with the processing times.

〈3・2〉識別精度 上記〈2・7〉で示した手法に基づき識別実験を行った。被験者 40 人（男性 32 人（そのうち眼鏡あり 9 人）、女性 8 人）、1,040 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 40 組、異なる人物同士 1,560 組の合計 1,600 組であり、顔画像一枚ずつの組み合わせでみると、同一人物画像同士 1,120 組、異なる人物画像同士 39,000 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 1 組、異なる人物同士で 44 組、再入力と判定されたものが、異なる人物同士で 42 組存在した。

表 1 より、全 1,600 組に対して、1,513 組を正識別し、94.6% の正識別率を得た。

表 1 識別結果

Table 1. Discrimination results.

Combination	Correct	Reentry	False
Same person	39/40	0/40	1/40
	(97.5%)	(0.0%)	(2.5%)
Different people	1474/1560	42/1560	44/1560
	(94.5%)	(2.7%)	(2.8%)

上記の識別結果から、40 組中 39 組が本人であると認識された。38 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、補間処理が行われなければ誤識別と判断された画像が 4 組存在した。

上記〈2・6〉において抽出された候補画像と補間画像の入力画像に対する相対的位置関係を図 11 に示す（図の中で各等濃線分布の下の（ ）内に記されたそれぞれの数字は、入力画像と候補画像および補間画像との間の一致度を示している）。この図から、補間画像が補間処理によって入力画像

の顔の傾きに近づけられ、一致度が向上していることが分かる。このことから補間処理の有効性が確認できる。

図 11 入力画像と照合対象画像の位置関係

Fig. 11. Relationship among an input image, candidate images and interpolated images.

また、再入力あるいは誤識別と判断された組合せから任意の 10 組、別人と判断された組合せから選んだ任意の 10 組に対して補間処理を行い、照合を行った。誤識別となった組合せでは、10 組中 1 組で一致度が上昇し、別人と判断された組合せでは 10 組中 2 組で一致度の上昇が確認できた。しかしながら、この一致度の補間処理による上昇率は本人同士の場合に比べて非常に小さいものであった。この補間処理は、等濃線の形状の近似性に基づいて行われているため、ある程度の一致度がないと向上効果は期待できない。しかし、別人同士の全組合せに対して補間処理が適用された場合、今回別人と判断されたがリジェクションのしきい値にその一致度が近い値を持つ組合せでは、このように若干でも一致度が上昇したことによって識別率に悪影響を及ぼすことがあると考えられる。本論文では、本人同士の一致度の向上を計ることによって、その組合せが本人同士のものであることをより強く確信させることを目的としているため、大域的照合の段階で既に別人であると判定された組み合わせに対しては補間処理は実施しなかった。

一方、同一人物同士 40 組中誤識別された 1 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 42 組、および誤判定された 44 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、しきい値による本人と別人との分離性をさらに改善する必要がある。

4. 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、およびその処理時間の短縮手法について検討し、その結果について述べた。図形内を構成する各画素の背景からの距離情報に基づいて補間を行うことで、入力画像の顔の傾き角に近似した等濃線分布の作成が可能であることを示し、その有効性を確認した。また、処理時間も大幅に短縮可能であることが確認された。同一人物同士 40 組、異なる人物同士 1,560 組での識別実験では、94.6% の正識別率で本人および別人と認識された。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 12 年 7 月 4 日受付, 平成 13 年 6 月 6 日再受付)

平 野 晃 昭 (非会員) 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。

文 献

- (1) 葛田, 小池, 伴野, 石井, “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, Vol.J78-D-II, No.11, pp.1639-1649, 1995.
- (2) ゲデット, 呉, 谷内田, “多様な姿勢を有する入力顔画像からの個人識別”, 信学論, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2232-2238, 1997.
- (3) 小杉, 山下, “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, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2244-2247, 1997.
- (4) 堤, 中島, “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.
- (5) 小川, 沖, 尺長, “部分照合と構造照合の統合による向き不定顔の単眼視構造解析”, 信学技報, PRMU97-160, pp.61-68, 1997.
- (6) Jezekiel Ben-Arie, Dibyendu Nandy, “A Volumetric/Iconic Frequency Domain Representation for Objects With Application for Pose Invariant Face Recognition”, IEEE Trans.PAMI, Vol.20, No.5, 1998.
- (7) “FaceIt”, <http://www.faceit.com>, VISIONICS Corp.
- (8) 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.
- (9) 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.
- (10) 上野, 加藤, 中村, 南, “等濃線分布に基づく正面顔画像の識別”, 信学論, Vol.J76-D-II, No.3, pp.494-506, 1993.
- (11) 松橋, 藤本, 中村, 南, “顔領域抽出に有効な修正 HSV 表色系の提案”, テレビジョン学会誌, Vol.49, No.6, pp.787-797, 1995.
- (12) 南, 中村, “画像工学-画像のエレクトロニクス-”, pp.133-135, コロナ社.
- (13) 池田, 海老根, 志賀, 中村, “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.
- (14) 平野, 中村, “顔の回転にロバストな個人識別方式”, 電学論 C, Vol.120-C, No.6, pp.800-808, 2000.