

微小な構造特徴点の対応付けに基づく顔画像照合

浜田 康志[†] 今岡 仁[†]

[†] NEC 共通基盤ソフトウェア研究所 〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753

E-mail: y-hamada@ih.jp.nec.com, h-imaoka@cb.jp.nec.com

あらまし 二枚の高解像度の顔画像間に対応付けた微小な構造特徴点に基づく顔画像照合法を提案する。顔の見た目が似ている人物の顔照合では、ほくろやしわなどの微小な構造特徴の照合が有効である。しかし、微小な構造特徴を表す小さな輝度変化パターンは外的要因で変動しやすい。そのため、微小な構造特徴は画像によって抽出結果が変化する。そこで、多数の微小な構造特徴点の中から、二枚の画像間で相互に安定して対応する組み合わせを対応点として求める。この対応点を基に微小な構造特徴の類似度と幾何学的な類似度を評価することで、外的要因で変動しやすい微小な構造特徴を照合する。実験により、本手法の効果を示す。

キーワード 顔画像照合, 高解像度画像, 微小な構造特徴

Facial Image Matching Using Corresponding Feature Points on Detailed Textures

Yasushi HAMADA[†] and Hitoshi IMAOKA[†]

[†] Common Platform Software Research Laboratories, NEC Corporation

1753, Shimonumabe, Nakahara-Ku, Kawasaki, Kanagawa, 211-8666 Japan

E-mail: y-hamada@ih.jp.nec.com, h-imaoka@cb.jp.nec.com

Abstract The authors propose a face recognition method employing a high-resolution facial image based on corresponding feature points on detailed textures. For discriminating between facial images of different persons whose facial appearances are very similar, it is effective to match feature points on detailed textures such as a mole. The detailed textures are extracted from inconspicuous patterns on high-resolution images. Hence, the detailed textures tend to be changed by disturbances. To improve the matching accuracy for the issue, stably corresponding feature points between two images are selected from a lot of feature points. A matching score is calculated based on these corresponding feature points. Experimental results show the effects of the proposed method.

Keyword Facial Image Matching, High-Resolution Image, Detailed Textures

1. はじめに

人物の特定において顔は最も基本となる情報である。日常生活において、我々は顔を見て相手が誰であるかを判断し、その結果に応じた行動を取ることができる。したがって、計算機による顔の自動認識が可能となることで、人に違和感を与えることの少ないインタフェースとして利用できる。また、安全性や利便性の高いシステムなどへの応用が期待される。

従来の顔画像照合は、例えば、顔画像全体の見えについて固有空間法により人物間で現れる大きな変化の主成分を抽出し、二枚の顔画像の差を求める手法[1]や、目や鼻腔や口など、顔の中から各人物に共通する特徴的な部位を抽出し、各部位の見えとそれらの位置関係に基づいて本人らしさを評価する方法

[2]が提案されている。これら従来法では、様々な人に共通する部位、例えば目、眉、鼻、口などの形や見え、それらの位置関係の差を利用して2枚の顔画像を照合するのが一般的である。この方法は多くの場面で有効に機能する。一方で、兄弟や姉妹、双子、あるいは全くの別人であっても、顔の見えがよく似た人物を区別することは困難であった。

人が双子を見分ける際、ほくろの位置の違いなどを利用する。また、ほくろと同様にしわやそばかすや微小な凹凸なども、その数や配置に個人差が表れる。これらの微小な構造特徴を観測するためには高解像度の顔画像が必要だが、近年、撮像素数の大きいデジタルカメラの普及が進んだことで、高解像度の顔画像の取得が容易となった。これにより、人が双子を見分けるように、ほくろなどの肌上の文様

を利用した顔画像照合の試みがなされるようになった[3-7]。

肌上の微小な構造特徴を利用した顔照合として、ほくろなど明瞭な特徴点を抽出する手法がある[3-5]。例えば文献[3]では、円形分離度フィルタを利用してほくろのみを強調した顔画像を生成し、照合する手法を提案している。また、文献[4]では明瞭なほくろの位置の差異を基準に顔画像を照合する。また、文献[5]では特徴点の類似度と位置関係を評価基準の一つとして利用している。しかし、明瞭な特徴点の有無や数は個人差があるため、これらの手法を適用できない人物が存在する。また特徴点数が少ないと表情や顔向きの変動による特徴点の位置変化の影響を取り除くことは難しく、照合性能が低下する。表情や顔向きを正規化することも考えられるが、顔の三次元形状の個人差を考慮しつつ表情や顔向きを高精度に正規化することは容易でない。

前記手法とは異なる微小な構造特徴の照合方法として、微小な構造特徴を抽出した顔画像そのものを照合するアピアランスベースの手法がある。例えば、顔固有空間へ投影し復元した顔画像と元画像との差分にほくろやしわが現れることを利用して、従来の顔固有空間上の顔画像と差分画像とをそれぞれ照合する方法が提案されている[6,7]。文献[6]ではこの差分画像を複数の小領域に等分割し、各小領域の微小な位置ずれを考慮した評価を行っている。この手法では小領域ごとの位置ずれの考慮により姿勢変動や変形の影響を抑えている。一方、前述のほくろなどの特徴点を抽出する手法のような、照合に有効な特徴の有無や配置については考慮していない。

本論文では、二枚の高解像度の顔画像間で対応付けた微小な構造特徴点に基づく顔画像照合法を提案する。肌上の多数の微小な構造特徴点の中から、二枚の画像間で相互に安定して対応する組み合わせを対応特徴点として求める。この対応特徴点に基に微小な構造特徴の類似度と幾何学的な類似度を評価することで、外的要因で変動しやすい微小な構造特徴を照合する手法を提案する。

2章で微小な構造特徴の抽出と特徴点の選択、3章で特徴点の対応付け、4章で対応特徴点に基づく照合スコアについて述べる。そして、5章で実験結果を示し、6章でまとめる。

2. 微小な構造特徴の抽出と特徴点の選択

顔画像を照合するために、肌表面の微小な構造特徴を強調する特徴抽出処理を施し、抽出した特徴から特徴点を選択する。



図1 元画像



図2 微小な構造特徴

まず、顔を含む画像から、両目の位置を基準に大ききおよび画面内回転を正規化した顔濃淡画像を切り出す。図1に切り出した顔画像の例を示す。ここでは、顔画像サイズを360x600ピクセルとした。

次に顔画像から微小な構造特徴を抽出する。本論文で考える微小な構造特徴は、ほくろやしみや微小な凹凸など顔表面上で大きさや輝度変化が小さい文様である。これらの特徴は、明瞭な特徴点に比べて、顔全体から密に抽出することができる。また、表情変化などにより大域的な移動が生じても、局所的な位置関係の変化が生じにくい。この微小な構造特徴の局所的な類似度合いを評価することで、表情や姿勢の変化に頑強な照合が可能と考えられる。

この微小な構造特徴を抽出するため、局所領域ごとに小さな輝度値変化を強調する処理を行う。画像輝度値は照明条件変化の影響で値が変化する。しかし、画像の局所的な領域に注目すると陰の影響は小さい。また、陰による緩やかな輝度変化は局所領域では座標-輝度値空間で平面近似可能と考えられる。そこで、各画素について、その画素を中心とする局所領域内の画素値を用いて座標-輝度値空間での近似平面 $z(x,y)=ax+by+c$ を求め、この近似平面と画素値の差に基づいて画素値を正規化することで、微小な構造特徴を抽出する。微小な構造特徴は以下の式を用いて抽出する。

$$g(x,y) = \frac{f(x,y) - z(x,y)}{\sigma(x,y)} \quad (1)$$

$$\{\sigma(x,y)\}^2 = \frac{1}{N} \sum_s \sum_t \{f(x+s,y+t) - z(x+s,y+t)\}^2 \quad (2)$$

ここで、 $f(x,y)$ は元画像の座標 (x,y) の輝度値、 (s,t) は座標 (x,y) からみた局所領域内の相対座標、 N は局所領域の画素数である。実験では、局所領域は9x9ピクセルの矩形とした。

図1から微小な構造特徴を抽出した結果の画像を図2に示す。図より、陰による頬部の緩やかな輝度変化の影響が低減されている様子が見える。また、

ほくろなどの明瞭な特徴部位がある場合はその部位が強調され、明瞭な特徴部位がない領域ではかすかな輝度変化による微小な構造特徴が強調されており、顔上の場所ごとで有効な特徴が抽出される。

次に、特徴点を抽出する。特徴点は、図2に例示した微小な構造特徴の抽出処理を施した画像 $g(x,y)$ にリングフィルタを適用して抽出する。リングフィルタは、図3のように、注目画素を中心とする半径 r の円周上の画素値の最小値と注目画素の画素値の差分をリングフィルタ評価値 $E_{ring}(x,y)$ として求める。

$$E_{ring}(x,y) = \min_{(s,t) \in R} g(x+s,y+t) - g(x,y) \quad (3)$$

ここで、 R は中心 $(0,0)$ 、半径 r の円と重なる画素の座標 (s,t) の集合である。このリングフィルタ評価値がしきい値以上の点を抽出する。特徴点は、頬部を中心とする範囲から抽出する。これは、頬部は面積が広く、髪の毛による隠蔽や眼鏡の影響が小さいためである。

本手法では、多数の特徴点が抽出されるようにリングフィルタ評価値のしきい値を設定する。これらの特徴点には、撮影条件によって抽出が不安定となる点が含まれるが、二枚の顔画像の照合において有効な点も含まれる。そこで、特徴点抽出では候補となる多数の点を抽出し、次節で述べる特徴点の対応付けで照合に有効な特徴点を求める。また、抽出された特徴点は個人差や撮影環境によって数や分布する場所が異なる。そこで、点の分布が概ね一樣となるように、実験では頬部を基準に200個の点を選択した。図4に抽出された特徴点を示す。

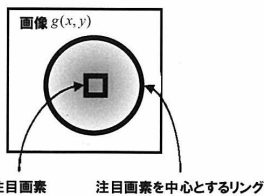


図3 リングフィルタ

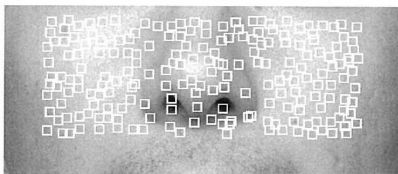


図4 特徴点の抽出

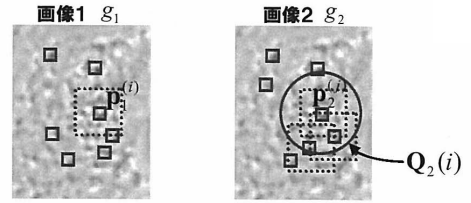


図5 特徴点近傍パタンの正規化相関値に基づく特徴点对応付け

3. 特徴点对応付け

二枚の顔画像間で同じ部位を示す微小な構造特徴点の対応を求める。特徴点の対応を取ることで、多数の特徴点の中から照合に有効な特徴点を絞り込む。

3.1. 微小な構造特徴を用いた対応する特徴点の探索

顔画像は目位置を基準に正規化されているが、顔向き変化や表情変化によって特徴点位置にずれが生じる。そこで、許容される位置ずれ $diff_p$ の範囲内に含まれる特徴点から対応する特徴点を探索する。

まず、顔画像1の座標 $p_1^{(i)}$ の特徴点 i について、 $\|p_1^{(i)} - p_2^{(j)}\| < diff_p$ を満たす顔画像2の座標 $p_2^{(j)}$ の特徴点 j を選び、その集合を $Q_2(i)$ とする。この $Q_2(i)$ の中から、特徴点 i にもっともよく対応する特徴点 j を探索する。対応の程度を評価するため、特徴点の類似度を定義する。特徴点の類似度は、顔画像1と顔画像2から式(1)により微小な構造特徴を抽出した画像 g_1 と g_2 を用い、 g_1 の座標 $p_1^{(i)}$ を中心とする矩形領域と、 g_2 の座標 $p_2^{(j)}$ を中心とする矩形領域の画素値についての正規化相関値 $c(i,j)$ と定義する(図5)。この類似度 $c(i,j)$ が最大となる特徴点 j を特徴点 i の対応点 $F_2(i)$ とする。

$$F_2(i) = \arg \max_{j \in Q_2(i)} c(i,j) \quad (4)$$

実験では、矩形領域の大きさを20x20ピクセル、 $diff_p = 20$ とした。

3.2. 微小な構造特徴における対応付けの問題

顔画像1の全ての特徴点に対して式(4)を適用し、相関値が最大となる特徴点を選択すると、照合に適さない対応が取られることがしばしば生じる。例えば、二枚の画像間で同じ部位を表す特徴点がどちらか一方の画像からしか得られていない場合は、対応する特徴点が存在しないが、必ずどれかの特徴点と対応が取られる。また、画像1の二つの特徴点が画像2の同じ特徴点に対応が取られるといった矛盾

が生じる (図 6)。

対応が正しいか否かを判定する基準として、例えば、正しい対応では矩形領域の画素値パターンが類似なので、正規化相関値 $c(i, j)$ がしきい値以上の点を対応点集合 \mathbf{P}_i として選択することが考えられる。

$$\mathbf{P}_i = \{(i, j) \mid j = F_2(i) \text{ かつ } c(i, j) \geq T_{corr}\} \quad (5)$$

しかし、式(1)により抽出した微小な構造特徴 $g(x, y)$ は、元画像の画素値の小さな変化を強調するため、各人物に固有の文様以外に照明や表情、ノイズなど要因による画素値変化も強調される。そのため、撮影条件が異なる二枚の画像を照合する場合、同じ部位を示す特徴点でも $c(i, j)$ の値が変動し、撮影条件に応じてしきい値 T_{corr} を最適化する必要がある。

3.3. 双方向の対応判定による画像間で安定して対応する特徴点の選択

誤った特徴点の対応の中で、画像 1 の二つの特徴点が画像 2 の一つの特徴点に対応付けられる場合、画像 2 の特徴点から見て画像 1 のどちらの特徴点により適切かを評価し、評価が低い特徴点との対応を棄却することが考えられる (図 6 中の左側の誤対応)。また、画像 1 の一つの特徴点のみが対応付けられた場合でも、その対応が誤っていれば、画像 2 の特徴点と相関値の高い特徴点が画像 1 中に他に存在する可能性が考えられる。この場合も、画像 1 の元の特徴点の対応結果は信頼できないとして棄却できる (図 6 中の右側の誤対応)。そこで、式(4)を用いた対応付けを画像 1 と画像 2 を入れ替えた場合にも適用し、画像 2 の特徴点 j に対して画像 1 から $c(i, j)$ が最大の特徴点 i を探索し、 $F_1(j)$ とする。安定した対応が得られる特徴点組み合わせでは、画像を入れ替えても同じ組み合わせが選ばれる可能性が高い。そこで、画像 1 から画像 2 への対応付け結果のうち、画像 2 から画像 1 への対応付け結果も一致した特徴点のみを対応点として選択する。すなわち、 $j = F_2(i)$ と $i = F_1(j)$ を同時に満たす特徴点の組み合わせ (i, j) の集合を対応点集合 \mathbf{P}_b として選択する。

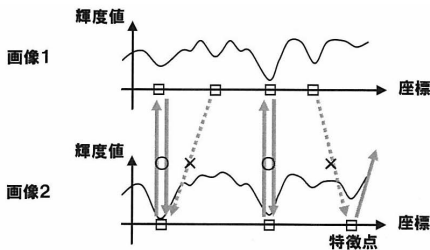
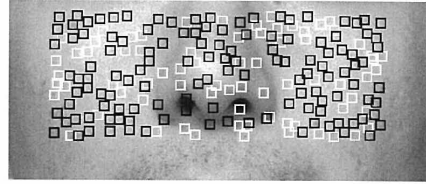
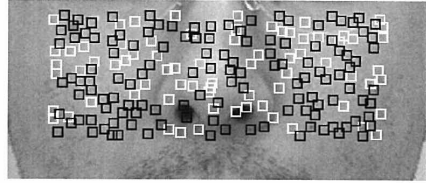


図6 特徴点対応付けによる対応点選択



(a) 画像 1 の特徴点



(b) 画像 2 の特徴点

図 7 双方向の対応判定による同一人物画像の特徴点の対応付け結果 (黒い矩形: 対応が取られた特徴点、白い矩形: 対応が取られなかった特徴点)

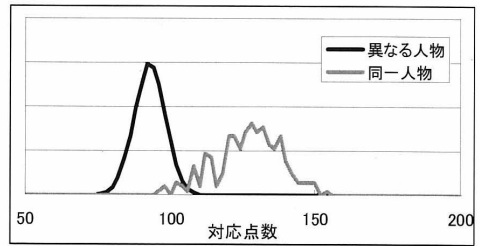


図 8 同一人物および異なる人物の顔画像間で対応が取られた特徴点の数のヒストグラム

$$\mathbf{P}_b = \{(i, j) \mid j = F_2(i) \text{ かつ } i = F_1(j)\} \quad (6)$$

図 7 に対応が取られた特徴点の例を示す。黒い矩形で示された特徴点が両画像間で対応が取られた特徴点、白い矩形は対応が取られなかった特徴点である。

異なる人物の顔画像間で式(4)を用いて対応点を探索する場合においても、実際には対応する部位が存在しないが必ず相関値最大の特徴点を選ばれる。しかし、式(6)により二枚の画像を入れ替えて対応する点を再探索することで、偶然対応がとられた組み合わせが再び選ばれる可能性が小さくなる。図 8 に、同一人物および異なる人物の顔画像間で対応が取られた特徴点の数のヒストグラムを示す。図より、異なる人物間に比べて同一人物間で対応点が多く得られる様子がわかる。

4. 対応特徴点の類似度とその配置を考慮した照合スコア

画像の照合の程度を表す指標として、式(6)で対応が取られた特徴点(以下、対応特徴点と呼ぶ)の数、対応特徴点の類似度、および対応特徴点の位置関係が有効である。対応特徴点の数は、図8に示すように、別人物の場合に比べて同一人物の顔画像を照合した場合のほうが多い。対応特徴点の類似度は、照明条件などで変動するが、対応特徴点が同一人物の同じ部位である場合により高くなると仮定できる。また、対応特徴点の位置関係は、表情や顔向きの変化が生じてても局所的な位置関係が維持されることに基づく。そこで、対応特徴点の位置関係に基づく重みを対応特徴点の類似度に掛けて統合することで、照合スコア S を定義する。

各対応特徴点について、画像1上の特徴点 i からみた画像2の対応する特徴点 j の相対位置 $\mathbf{p}_2^{(j)} - \mathbf{p}_1^{(i)}$ を $\mathbf{v}(\mathbf{p}_1^{(i)})$ とする。また、画像1上で特徴点 i の近傍に位置し、かつ、対応特徴点の集合 \mathbf{P}_b に含まれる特徴点の集合を $\mathbf{Q}_N(i)$ (i を含む) とする(図9)。そして、 $\mathbf{Q}_N(i)$ に属する特徴点 k のうち、相対位置 $\mathbf{v}(\mathbf{p}_1^{(k)})$ が $\mathbf{v}(\mathbf{p}_1^{(i)})$ と類似の特徴点の数を数え、重み $w(i)$ として定義する。

$$w(i) = \sum_{k \in \mathbf{Q}_N(i)} h(i, k) \quad (7)$$

$$h(i, k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \|\mathbf{v}(\mathbf{p}_1^{(i)}) - \mathbf{v}(\mathbf{p}_1^{(k)})\| < T_{pos} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

実験では、 $T_{pos}=3$ とした。

各特徴点 i に対する類似度 $c(i, j)$ に重み $w(i)$ を掛け、対応特徴点の集合 \mathbf{P}_b 全体で足し合わせた値を照合スコア S として定義する。

$$S = \sum_{(i, j) \in \mathbf{P}_b} w(i) c(i, j) \quad (9)$$

式(9)により、対応特徴点の数が多く、対応特徴点の類似度が高く、対応特徴点の局所的配置が類似の画像ほど高い照合スコアが得られる。

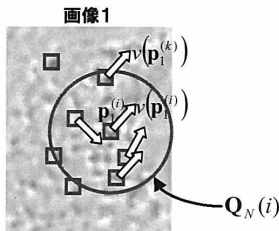


図9 近傍の対応特徴点の相対位置関係に基づく重み

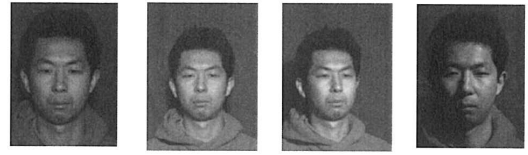


図10 実験用画像

表1 実験結果

	1位照合率	EER
条件1	100%	0.5%
条件2	99.5%	0.5%
条件3	93.8%	5.3%

5. 照合実験

209名の顔画像を用いて顔画像照合実験を行った。正面顔画像を登録画像とし、3種類の条件の画像とそれぞれ照合した。照合画像の条件1は登録画像と異なる正面顔画像、条件2は斜め横顔画像、条件3は正面顔で斜め前方のみから照明が照射された陰影の影響の大きい顔画像である(図10)。顔画像を切り出す基準の両目位置は手動で入力した。

全登録画像のうち本人画像との照合スコアが最大(1位)である割合を示す1位照合率、および他人受入率 FAR(False Acceptance Rate)と本人棄却率 FRR(False Reject Rate)が等しくなる EER(Equal Error Rate)を表1に示す。実験結果より、条件1の正面顔および条件2の横15°程度の横向き顔に対しては良好な照合結果が得られ、提案手法の有効性が確認できた。一方、条件3では陰影の影響が大きいため、陰の部分の画素輝度値が非常に小さいため、肌の微小な文様が照合に有効な輝度値バタンとして抽出できなかった。そのため、条件1や2に比べて照合精度が低下した。

次に、対応特徴点の探索方法の比較を行った。比較は、式(6)の本手法で用いた対応付け方法と、式(5)のしきい値処理による対応付け方法について行った。式(5)のしきい値 T_{corr} は0.3、0.5、0.7の3種類をそれぞれ実験した。FARが1%、0.1%のときの各対応付け方法のFRRを図11に示す。図の式(5)のしきい値処理による対応付け方法の結果より、FAR0.1%のときのFRRが最小となるしきい値が、条件1では $T_{corr}=0.5$ 、条件3では $T_{corr}=0.3$ と異なっている。また、式(5)の対応付け方法で3種類のしきい値のうちFRR最小の場合に対し、本手法で用いた式(6)の対応付け方法を FAR0.1%でのFRRと比較すると、条件1ではおよそ1/2に、条件2および条件3ではおよそ2/3に低減された。本手法では条件に応じたしき

い値の調整も不要である。したがって、外的要因の影響を受けて変動しやすい微小な構造特徴の照合において、本手法は有効と考えられる。

6. まとめ

本論文では、二枚の高解像度の顔画像間で対応付けた微小な構造特徴点に基づく顔画像照合法を提案した。顔の見た目が似ている人物の顔照合では、ほくろやしわなどの微小な構造特徴を用いた照合が有効だが、明瞭なほくろやしわの有無は個人差があり、その数も少ない。また、微小な構造特徴を表す小さな輝度変化パターンは様々な要因で変動しやすく、画像によって抽出結果が変化する。そこで、肌上の多数の微小な構造特徴点の中から、二枚の画像間で相互に安定して対応する組み合わせを対応特徴点として求めた。この対応特徴点に基に微小な構造特徴の類似度と幾何学的な類似度を評価することで、外的要因で変動しやすい微小な構造特徴を照合する手法を提案した。

200名規模の照合実験より、正面顔画像の照合や多少の顔向き変動を含む顔画像の照合において、EER0.5%と良好な照合精度が得られた。また、本手法で用いた双方向に同じ対応が得られる特徴点を照合に利用する方法は、しきい値処理で対応を求める方法と比べて、しきい値最適化の必要がなく、FRRをおよそ1/2~2/3に抑えることができた。

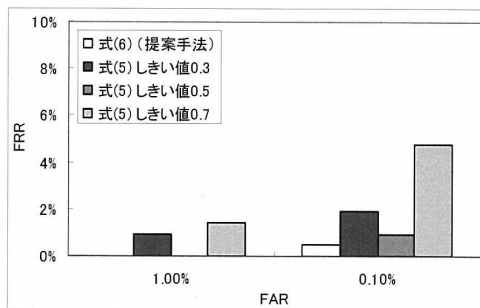
今後の課題は、従来の目口鼻などの大域的構造の特徴を用いた手法との統合による、照合精度の向上である。また、表情や照明条件の変化による局所的な文様の変動にロバストな対応特徴点の照合方法を検討することである。

文 献

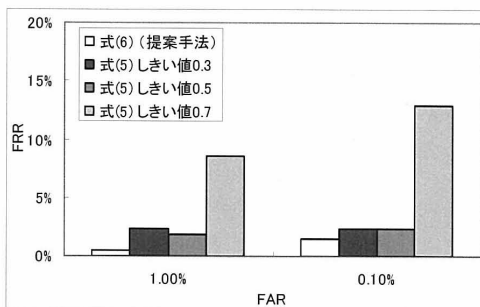
- [1] M.A.Turk and A.P.Pentland, "Face recognition using eigenfaces," Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.586-591, 1991.
- [2] L. Wiskott, J.M. Fellous, N. Kruger, and C. von der Malsburg, "Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, No. 7, pp. 775-779, 1997.
- [3] 河原智一, 山口修, 福井和広, "顔表面の微小特徴がなすグローバル構造を用いた人物認証," 第5回システムインテグレーション部門講演会, pp.619-620, 2004.
- [4] J.S. Pierrard and T. Vetter, "Skin Detail Analysis for Face Recognition," IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007.
- [5] D. Lin and X. Tang, "Recognize High Resolution Faces: From Macrocosm to Microcosm," IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 2, pp. 1355-1362, 2006.
- [6] 大西哲朗, 鷺見和彦, 平山高嗣, 松山隆司, "固

有残差画像のテクスチャ解析による顔の個人特徴の表現," 情報処理学会 CVIM 論文誌, Vol.48, No.SIG9 (CVIM18), pp. 90-99, 2007.

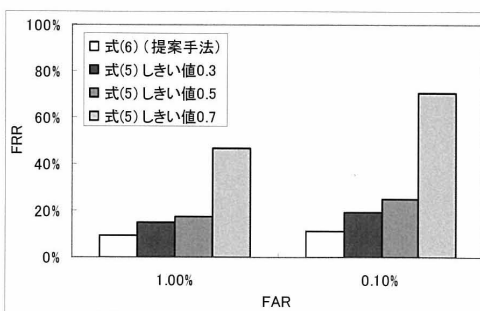
- [7] T. Shakunaga and K. Shigenari, "Decomposed eigenface for face recognition under various lighting conditions," IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. I-864 - I-871, 2001.



(a) 条件 1



(b) 条件 2



(c) 条件 3

図 11 特徴点对応付け方法の比較