

# 位相情報を用いた掌紋認証アルゴリズムの検討

## A Study on a Palmprint Recognition Algorithm Using Phase Information

伊藤 康一\*                      飯塚 智†                      青木 孝文\*  
Koichi ITO                      Satoshi IITSUKA                      Takafumi AOKI

あらまし 本論文では、画像を離散フーリエ変換して得られる位相情報を用いた掌紋認証アルゴリズムを提案する。バイオメトリクス認証システムでは、登録するデータに秘匿性を持たせることでシステムの安全性を向上させることが多いが、一方で認証性能が低下するとともに処理時間が増加してしまう。これに対し、画像の位相情報は、元の画像に復元困難な登録データを生成することが可能であるとともに、認証性能の低下を抑えることも可能である。本論文では、掌紋認証を例にとり、バイオメトリクス認証における位相情報の有効性を実証するとともに、掌紋画像データベースを用いた性能評価実験を通して、提案アルゴリズムの有効性を示す。

キーワード 掌紋, 手のひら, バイオメトリクス, 位相限定相関法, テンプレート保護

### 1 はじめに

ユビキタス情報社会において、セキュリティは、最も重要なキーワードの1つであり、信頼性が高く、利便性に優れた個人認証システムが必要とされている。現在までに一般的に用いられている個人認証システムは、パスワード、PIN (Personal Identification Number)、鍵などのように記憶や所持を必要とするものである。そのため、「忘れる」、「盗まれる」、「なくす」という危険性がある。これらの問題に対し、記憶や所持が不要で、さらに時間がたっても変化することのない究極的な認証方法として、個人の身体的・行動的特徴をそのまま認証情報として利用するバイオメトリクス認証技術が注目されている [1]。個人認証システムにおいて利用される身体的・行動的特徴には、指紋・虹彩・顔・掌紋・筆跡などがある。これらの中で、掌紋を用いた認証システムは、新しいバイオメトリクス認証として注目を浴びている [2]。

掌紋は、手のひらにあるパターンであり、隆線や特異点、特徴点、テクスチャなど多くの特徴がある。掌紋は、手のひらの大きな領域であるため、これらの特徴を安定

して抽出することができる。また、指紋認証と同程度の識別性能を持っているだけでなく、カメラなどを使って非接触・非拘束で撮影することができる。これらの特徴は、個人の識別性および認証システムの利便性において有用である。

現在までに提案されている掌紋認証アルゴリズムは、掌紋画像から特徴量を抽出し、その特徴量間の距離に基づいて照合するアルゴリズムである [2, 3, 4, 5]。特徴量をデータベースに登録するため比較的安全性は高いが、特徴抽出における多数のパラメータ（例えば、特徴抽出用のフィルタの位置や角度、周波数、フィルタのサイズなど）を適切に設定しなければ、大幅に性能が低下する問題がある。これに対し、筆者らは、画像の位相情報を用いた照合手法である位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC) を用いた掌紋認証アルゴリズムを提案してきた [6, 7]。この認証アルゴリズムは、煩雑なパラメータの最適化が必要なく、特徴ベースのアルゴリズムより高性能であるが、データベースに画像を保存しなければならない問題がある。また、これまでに提案されているバイオメトリクス認証システムのためのテンプレート保護技術は、安全性を高めることによって認証性能が低下してしまっている問題がある [1]。

これに対し、本論文では、バイオメトリクス認証システムの安全性を高めつつ、認証性能を低下させないことを目的とする。具体的には、(i) 画像の位相情報を登録することで元の画像に復元困難な登録データを生成し、

\* 東北大学 大学院情報科学研究科, 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, 6-6-05, Aramaki Aza Aoba, Sendai-shi 980-8579, Japan (ito@aoki.ecei.tohoku.ac.jp)

† 東北大学 工学部, 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05, Faculty of Engineering, Tohoku University, 6-6-05, Aramaki Aza Aoba, Sendai-shi 980-8579, Japan (iit-suka@aoki.ecei.tohoku.ac.jp)

(ii) 画像のひずみを考慮して照合する認証アルゴリズムを提案する．一般に公開されている掌紋画像データベースである PolyU Palmprint Database [8] を用いた実験を通して，提案アルゴリズムの有効性を示す．

## 2 位相限定相関法

ここでは，提案する認証アルゴリズムの基本技術である位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC) の定義について述べる．大きさ  $N_1 \times N_2$  画素の画像を  $f(n_1, n_2)$  と  $g(n_1, n_2)$  とする．ただし，定式化の便宜上，離散空間のインデックスを  $n_1 = -M_1, \dots, M_1$  ( $M_1 > 0$ ) および  $n_2 = -M_2, \dots, M_2$  ( $M_2 > 0$ ) とし，画像の大きさを  $N_1 = 2M_1 + 1$  画素および  $N_2 = 2M_2 + 1$  画素とする．これらの画像の 2 次元離散フーリエ変換 (2 次元 DFT) をそれぞれ  $F(k_1, k_2)$  および  $G(k_1, k_2)$  として次式で与える．

$$\begin{aligned} F(k_1, k_2) &= \sum_{n_1, n_2} f(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_F(k_1, k_2) e^{j\theta_F(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} G(k_1, k_2) &= \sum_{n_1, n_2} g(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_G(k_1, k_2) e^{j\theta_G(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (2)$$

ただし， $W_{N_1} = e^{-j\frac{2\pi}{N_1}}$ ， $W_{N_2} = e^{-j\frac{2\pi}{N_2}}$  であり， $\sum_{n_1, n_2}$  は  $\sum_{n_1=-M_1}^{M_1} \sum_{n_2=-M_2}^{M_2}$  を意味する．ここで， $A_F(k_1, k_2)$  および  $A_G(k_1, k_2)$  はそれぞれの画像の振幅成分， $e^{j\theta_F(k_1, k_2)}$  および  $e^{j\theta_G(k_1, k_2)}$  はそれぞれの画像の位相成分である．一般性を失うことなく離散周波数のインデックスを  $k_1 = -M_1, \dots, M_1$ ， $k_2 = -M_2, \dots, M_2$  とすることができる． $F(k_1, k_2)$  と  $G(k_1, k_2)$  の合成位相スペクトル  $R_{FG}(k_1, k_2)$  を次のように定義する．

$$\begin{aligned} R_{FG}(k_1, k_2) &= \frac{F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}}{|F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}|} \\ &= e^{j\theta(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで， $\overline{G(k_1, k_2)}$  は  $G(k_1, k_2)$  の複素共役である．また， $\theta(k_1, k_2)$  は， $\theta_F(k_1, k_2) - \theta_G(k_1, k_2)$  で与えられる．POC 関数  $r_{fg}(n_1, n_2)$  は， $R_{FG}(k_1, k_2)$  の 2 次元離散フーリエ逆変換 (2 次元 IDFT) として次のように表される．

$$r_{fg}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1, k_2} R_{FG}(k_1, k_2) W_{N_1}^{-k_1 n_1} W_{N_2}^{-k_2 n_2} \quad (4)$$

ここで， $\sum_{k_1, k_2}$  は  $\sum_{k_1=-M_1}^{M_1} \sum_{k_2=-M_2}^{M_2}$  を意味する．類似した 2 枚の画像間の POC 関数  $r_{fg}(n_1, n_2)$  はするどいピークを示す．一方，異なる 2 枚の画像間では，全くピークが現れない．POC 関数のピークの高さは，画

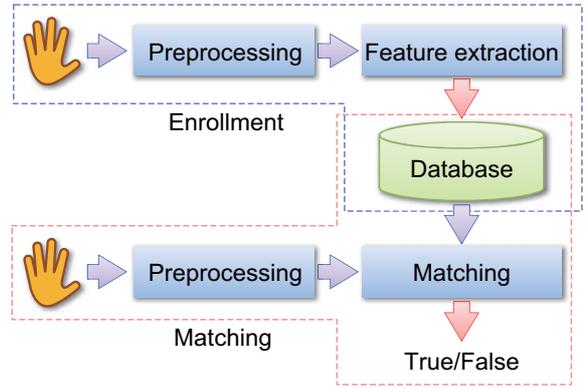


図 1: 提案アルゴリズムの処理の流れ

像間の類似度を調べる指標となる．この特徴以外にも，POC 関数は，画像間の位置ずれ (平行移動) や明るさの変化，加算ノイズに対してロバストである．これらの特徴は，バイオメトリクス認証において非常に有効である [9]．

本論文では，バイオメトリクス認証に特化させた POC である帯域制限位相限定相関法 (Band-Limited Phase-Only Correlation: BLPOC) を用いる [9]．掌紋画像の周波数特性を調べると，画像に含まれている重要な情報は低周波領域に含まれていて，ノイズなどの意味のない情報が高周波領域に含まれている性質に気づく．BLPOC は，この性質を利用したもので，掌紋画像の高周波成分を取り除き，画像の持っている有効な周波数成分のみを使用する画像マッチング手法である．BLPOC 関数は次式で定義される．

$$\begin{aligned} r_{fg}^{K_1 K_2}(n_1, n_2) &= \frac{1}{L_1 L_2} \sum_{k_1=-K_1}^{K_1} \sum_{k_2=-K_2}^{K_2} R_{FG}(k_1, k_2) \\ &\quad \times W_{L_1}^{-k_1 n_1} W_{L_2}^{-k_2 n_2} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで， $n_1 = -K_1, \dots, K_1$ ， $n_2 = -K_2, \dots, K_2$ ， $L_1 = 2K_1 + 1$ ， $L_2 = 2K_2 + 1$  である．BLPOC は，制限する周波数帯域の大きさに依存せず，常に相関ピークの最大値が 1 に正規化される．

## 3 登録処理

本論文で提案するアルゴリズムは，図 1 に示すように登録処理と照合処理の 2 つから構成される．ここでは，まず，登録処理について述べる．

提案アルゴリズムの登録処理は，(i) 前処理と (ii) 特徴抽出の 2 ステップで構成される．前処理は，入力された手のひら画像 (掌紋画像) の中から，一定の位置にある掌紋領域を抽出する処理である．特徴抽出は，得られた掌紋領域を局所的な画像ブロックに分割し，その位相情報を特徴として抽出する処理である．以下にそれぞれの処理について詳しく説明する．

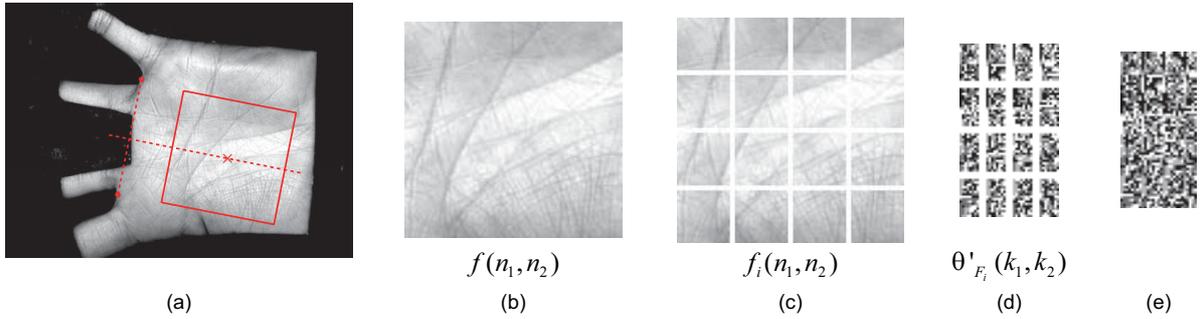


図 2: 登録処理 : (a) 入力画像と登録に使用する掌紋領域 (四角で囲った領域), (b) 抽出した掌紋領域, (c) 分割された画像ブロック (32 × 32 画素で分割した場合), (d) それぞれの画像ブロックの位相情報, (e) 登録データ

### 3.1 前処理

前処理では, 入力画像の中から登録に使用する領域を抽出する. 同じ人の手のひら画像が入力されたときに同じ領域を安定に抽出するために, 指と指の間にあるくぼみを基準として利用する手法を用いる [4].

1. 低域通過フィルタを使用して画像を滑らかにする. 適当な閾値で画像を 2 値化する.
2. 境界追跡アルゴリズムを用いて指と指の間にあるくぼみ (人差指と中指および薬指と小指の間) を検出する (図 2 (a) の赤丸).
3. 検出した 2 つのくぼみ間の線分の垂直 2 等分線を求め, ある一定距離にある点を手のひらの重心とする (図 2 (a) の × 印).
4. 重心を中心とする掌紋領域  $f(n_1, n_2)$  を抽出する (図 2 (b)). 本論文では, 掌紋領域の大きさを 128 × 128 画素とした.

### 3.2 特徴抽出

提案アルゴリズムでは, 前処理で得られた領域の位相情報を特徴として登録する.  $f(n_1, n_2)$  の位相情報をそのまま登録した場合, それを逆フーリエ変換することで手のひらに近い情報が得られてしまう. そこで, 局所的な画像ブロックに分割し, さらに位相情報を量子化することで, 復元困難な登録データを生成する.

1.  $f(n_1, n_2)$  を  $B \times B$  画素の画像ブロックに分割する. 得られた画像ブロックを  $f_i(n_1, n_2)$  ( $i = 1, \dots, N_{block}$ ) とする. ここで,  $N_{block}$  は分割した画像ブロックの数とする. 画像ブロック間で重なるように抽出してもよい. 図 2 (c) は  $B = 32$  とし, 重ならないように分割した例である.
2. 次式により, それぞれの画像ブロックの位相情報

$\theta_{F_i}(k_1, k_2)$  を求める.

$$\begin{aligned} F_i(k_1, k_2) &= \sum_{n_1, n_2} f_i(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_{F_i}(k_1, k_2) e^{j\theta_{F_i}(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (6)$$

3. 周波数領域では, 振幅および位相ともに点対称な情報として得られるため, 片側のみを保存すればよい. 位相情報は,  $-\pi$  から  $\pi$  までの値をとるが, この値を量子化しても照合にあまり影響を受けないことがわかっている [10]. また, 高周波領域に含まれる情報は, S/N が低いため照合に有用ではない. そこで,  $\theta_{F_i}(k_1, k_2)$  の片側, かつ低域から縦軸方向に  $B \times K_1/M_1$ , 横軸方向に  $B \times K_2/M_2$  までの位相情報を量子化した  $\theta'_{F_i}(k_1, k_2)$  を登録データとして使用する (図 2 (d) は, 位相情報を 2 bit (4 方向) に量子化し,  $K_1/M_1 = K_2/M_2 = 0.5$  とした場合). 登録データは, 図 2 (e) のように, 全ブロックを統合したものとする.

以上の手順により作成した登録データから元の画像が復元できるかを確かめる.  $f(n_1, n_2)$  から位相情報を取り出し, 全帯域の振幅を 1 として復元した画像を図 3 (b) に示す. この場合, 手のひらのしわがよく現れている. 一方, 登録データから画像を復元した場合は, 図 3 (d) のように掌紋として有効な情報がほとんどない画像となる. 以上より, 本処理により得られた登録データが万が一盗まれたとしても, 元の画像には復元困難なデータであることがわかる.

## 4 照合処理

照合処理は, (i) 前処理と (ii) 照合の 2 ステップで構成される. 前処理は, 登録の前処理と同様に手のひらから一定サイズの掌紋領域を抽出する処理である. 照合は, 抽出した掌紋領域とデータベースに登録されている位相情報を照合する処理である. 以下にそれぞれの処理について詳しく説明する.

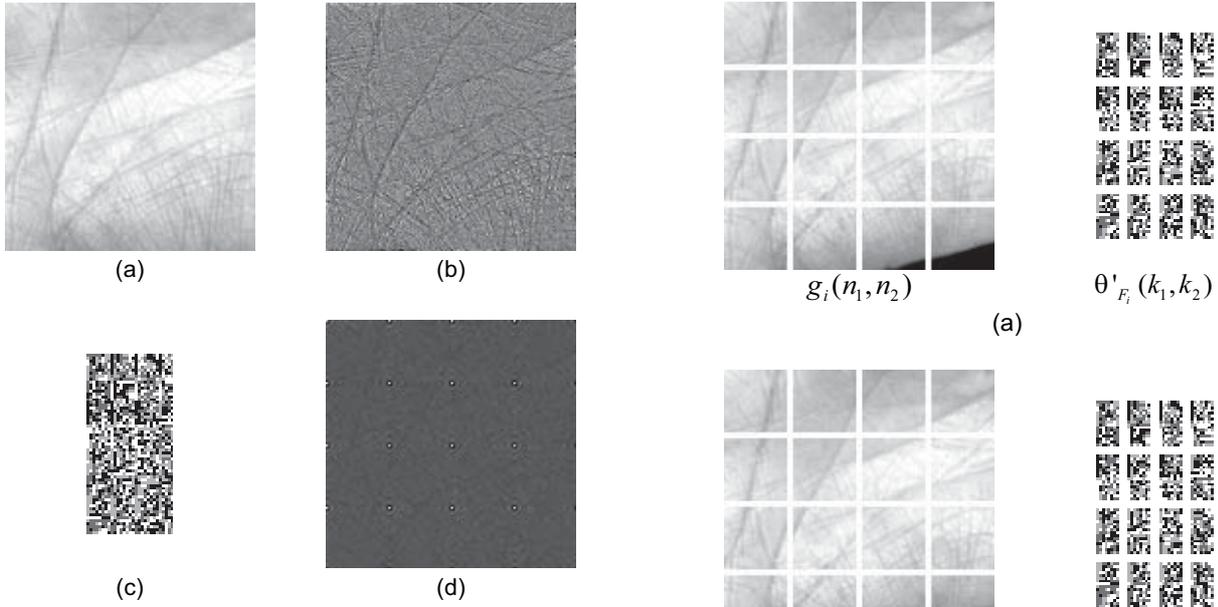


図 3: 登録データから復元した画像:(a) 原画像  $f(n_1, n_2)$ , (b) 原画像の位相情報のみから復元した画像, (c) 登録データ, (d) 登録データから復元した画像

#### 4.1 前処理

入力画像に対して, 登録の前処理と同様の処理を実行し, 手のひら画像から一定サイズの掌紋領域  $g(n_1, n_2)$  を抽出する.

#### 4.2 照合

照合では, 登録と同様に  $g(n_1, n_2)$  を  $B \times B$  画素の画像ブロックに分割し, それぞれの画像ブロックと同じ位置に登録されている位相情報と照合する. ここで, 照合する前に画像ブロック間の位置を合わせることで, 画像のひずみに対応した照合を行う.

1.  $g(n_1, n_2)$  を  $B \times B$  画素の局所的な画像ブロックに分割し, 各画像ブロックを  $g_i(n_1, n_2)$  ( $i = 1, \dots, N_{block}$ ) とする.
2.  $g_i(n_1, n_2)$  と  $\theta_{F_i}(k_1, k_2)$  の BLPOC 関数  $r_{f_i g_i}^{K_1 K_2}(n_1, n_2)$  ( $n_2 = 0$  の断面をプロットしている) を求め, 最大ピークの位置から画像ブロック間の移動量  $(\delta_1, \delta_2)$  を求める (図 4 (a)).
3.  $(\delta_1, \delta_2)$  だけ位置ずれさせた位置から再度画像ブロックを抽出し,  $g'_i(n_1, n_2)$  とする.

$$g'_i(n_1, n_2) = g(n_1 - \delta_1, n_2 - \delta_2) \quad (7)$$

4.  $g'_i(n_1, n_2)$  と  $\theta_{F_i}(k_1, k_2)$  の BLPOC 関数  $r_{f_i g'_i}^{K_1 K_2}(n_1, n_2)$  を求める (図 4 (b)). 認証性能を向上させるために, 得られた BLPOC 関数群の平均を次式のよう

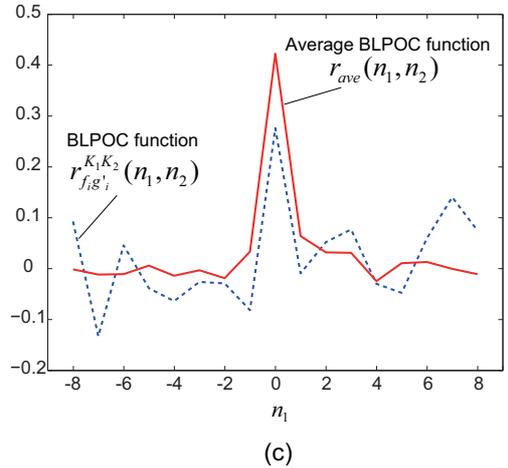
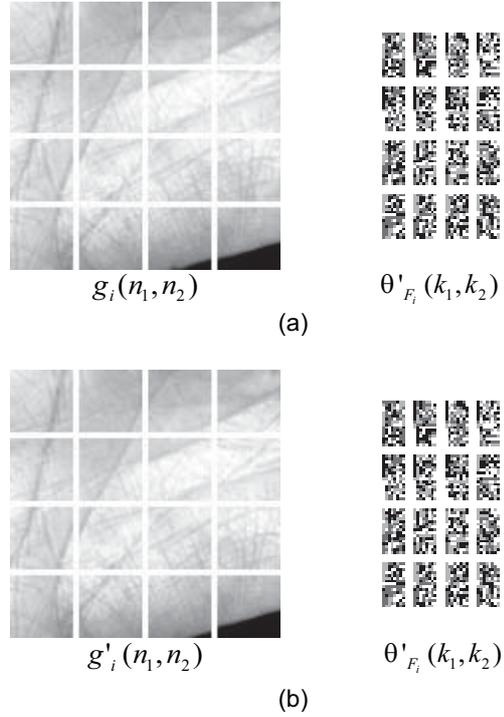


図 4: 照合処理:(a) 入力画像から得られた画像ブロック  $g_i(n_1, n_2)$  と登録データ, (b) 位置合わせ後の画像ブロック  $g'_i(n_1, n_2)$  と登録データ, (c) 1 ブロックの BLPOC 関数  $r_{f_i g'_i}^{K_1 K_2}(n_1, n_2)$  と平均 BLPOC 関数  $r_{ave}(n_1, n_2)$

に求める.

$$r_{ave}(n_1, n_2) = \sum_{i=1}^{N_{block}} r_{f_i g'_i}^{K_1 K_2}(k_1, k_2) / N_{block} \quad (8)$$

図 4 (c) のように, BLPOC 関数群を平均化することで Peak-to-Noise Ratio (PNR) を改善することができる [11]. 照合スコアは,  $r_{ave}(n_1, n_2)$  の最大ピークの値とする.

本論文において, 照合に用いる BLPOC のパラメータは,  $K_1/M_1 = K_2/M_2 = 0.5$  とする.

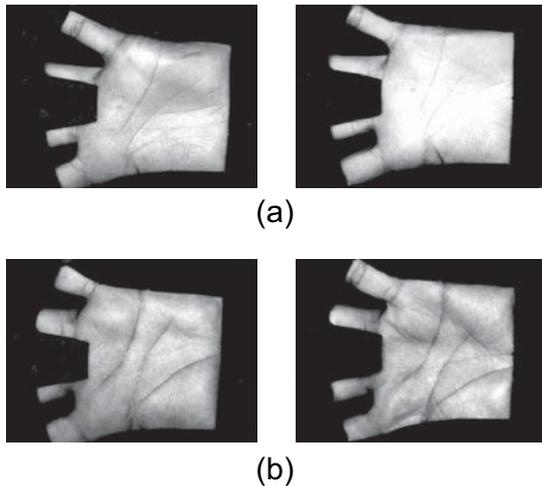


図 5: データベースに格納されている画像の例: (a) 明るさの異なる画像ペア, (b) ひずんだ画像ペア

## 5 実験と考察

ここでは、香港理工大学が一般に公開している掌紋画像データベースである PolyU Palmprint Database [8] を用いた性能評価実験について述べる。このデータベースには、100 人の被験者から異なるタイミングで採取した 6 枚の掌紋画像 ( $384 \times 284$  画素) 計 600 枚が格納されている。この掌紋画像は、手の位置を固定するための固定具を有する掌紋認証装置を用いて撮影されている。画像間には、微小な位置ずれ、回転、ひずみが生じている。図 5 に、データベースに格納されている掌紋画像の例を示す。

一般に、バイオメトリクス認証システムの性能は、ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線を用いて評価される [12]。ROC 曲線は、本人と他人を識別する照合スコアの閾値を変化させて、本人拒否率 (False Non-Matching Rate: FNMR) に対する他人受け入れ率 (False Matching Rate: FMR) をプロットすることで描かれる。まず、FNMR を求めるために、同じ人の掌紋画像におけるすべての組み合わせ  ${}_6C_2 \times 100 = 1,500$  ペアについて照合実験を行う。続いて、FMR を求めるために、各人の 1 番目の掌紋画像を使ったすべての組み合わせ  ${}_{100}C_2 = 4,950$  ペアについて照合実験を行う。また、性能評価の指標として、 $FNMR = FMR$  で定義される EER (Equal Error Rate) も用いられる。本論文では、EER を用いて認証性能を評価する。

本論文では、(A) Zhang らのアルゴリズム [4]、(B) 位相限定相関法を用いたアルゴリズム [6, 7]、(C) 提案アルゴリズムの 3 つのアルゴリズムの性能を比較する。提案アルゴリズム (C) では、画像ブロックの大きさを  $B = 32$  画素とし、画像ブロック間の重なりを 0 画素、8 画素、16 画素、位相情報の量子化レベルを 2 bit から

表 1: アルゴリズム (A) および (B) の実験結果

	EER [%]	容量 [byte]	処理時間 [sec.]
(A)	0.446	4,096	1.37
(B)	0.117	4,096	0.29

8 bit まで変化させた場合の性能を調べる。比較する性能は、(i) 登録データの容量、(ii) 処理時間、(iii) 認証性能の 3 つである。実験結果を表 1 および 2 に示す。

### (i) 登録データの容量

アルゴリズム (A) の場合、Gabor フィルタにより得られた実部の特徴と虚部の特徴を登録データとする。各画素の特徴は 1 bit で表現されるため、登録データの容量は、 $128 \times 128$  画素  $\times 2$  枚  $\times 1$  bit = 32,768 bit = 4,096 byte となる。アルゴリズム (B) の場合は、画像をそのまま保存する必要がある。ただし、パラメータの最適化実験により、画像サイズを 50% としたときの認証性能が高いため [6, 7]、ここでは、画像を 50% に縮小したものを登録したとする。登録データの容量は、 $64 \times 64$  画素  $\times 8$  bit = 32,768 bit = 4,096 byte となる。アルゴリズム (C) の場合、位相情報の対称性などを利用することで大幅に容量を削減することができる。それぞれのパラメータによる登録データの容量を表 2 に示す。たとえば、 $32 \times 32$  画素の画像ブロックを重ならないように抽出し、位相情報の対称性を考慮して片側のみを 2 bit (4 方向の位相) を登録したとすると、登録データの容量は、 $17 \times 9$  画素  $\times 16$  個  $\times 2$  bit = 4,896 bit = 612 byte となる。以上より、アルゴリズム (A) および (B) に比べて、提案アルゴリズムの登録処理により得られる登録データの容量は、十分に小さくすることが可能である。

### (ii) 処理時間

処理時間は、Pentium 4 3.2GHz 上の MATLAB 6.5.1 で評価した。アルゴリズム (A) の処理時間は 1.37 秒、アルゴリズム (B) の処理時間は 0.29 秒である。アルゴリズム (C) の処理時間は、パラメータの設定にかかわらず前処理に 0.41 秒かかる。照合にかかる処理時間は、ブロック間の重なりの設定により変化する。重なりなくブロックを抽出した場合は 0.02 秒、8 画素重ねて抽出した場合は 0.04 秒、16 画素重ねて抽出した場合は 0.07 秒である。あらかじめ、前処理を施した入力画像を準備すれば、0.10 秒以下で照合が終了する。たとえば、データベースに 100 人分のデータが登録されていたとき、1 対 100 の照合を行うと、前処理に 0.41 秒、照合に  $0.02$  秒  $\times 100$  人 = 2 秒かかるので、合計の処理時間は 2.41 秒となる。以上より、提案アルゴリズムは従来法と比べて十分に高速である。

表 2: アルゴリズム (C) の実験結果

量子化レベル [bit]	オーバーラップ無し $N_{block} = 16$		オーバーラップ 8 画素 $N_{block} = 25$		オーバーラップ 16 画素 $N_{block} = 49$	
	EER[%]	容量 [byte]	EER[%]	容量 [byte]	EER[%]	容量 [byte]
2	0.457	612	0.226	956	0.061	1,874
3	0.198	918	0.089	1,434	0.000	2,811
4	0.151	1,224	0.061	1,913	0.000	3,749
5	0.212	1,520	0.061	2,391	0.000	4,686
6	0.109	1,836	0.047	2,869	0.000	5,622
7	0.123	2,142	0.028	3,347	0.000	6,560
8	0.123	2,448	0.028	3,825	0.000	7,497

処理時間 [sec.]	0.43	0.45	0.48
-------------	------	------	------

### (iii) 認証性能

アルゴリズム (A) および (B) の認証性能は, EER でそれぞれ 0.45%, 0.12% となった. 一方, アルゴリズム (C) は, 表 2 のように, 画像ブロック間の重なり具合と位相情報の量子化レベルの設定により EER が変化する. もっとも実用的な設定にした場合 (登録データの容量が少なく, かつ処理時間も早い場合), EER は 0.457% であり, アルゴリズム (A) と同等の認証性能を有する. また, アルゴリズム (A) および (B) と登録データの容量が同等の設定にした場合, ブロックをある程度重複するように抽出することで, アルゴリズム (A) および (B) よりも高い認証性能を有する. 画像ブロックの数が増えることにより, 画像間のひずみを考慮した照合が可能になり, 認証性能が向上するためである.

## 6 まとめ

本論文では, 位相情報を用いた掌紋認証アルゴリズムを提案した. 提案アルゴリズムは, 位相情報を利用することで元の画像に復元困難な登録データを生成し, 局所的な画像ブロックに分割することによりひずんだ画像でも照合することができる. 性能評価実験により, 位相情報を登録データとしても十分な認証性能を有することを確認することができた. 今後は, 提案アルゴリズムに基づく認証システムがセキュリティシステムとして十分な性能と安全性を有しているかをキャンセルラブルバイオメトリクス観点から検証する予定である.

## 参考文献

- [1] A. Jain, A. Ross, and S. Pankanti, "Biometrics: A tool for information security," IEEE Trans. Information Forensics and Security, vol.1, no.2, pp.125-143, June 2006.
- [2] D. Zhang, Palmprint Authentication, Kluwer Academic Publication, 2004.
- [3] N. Duta, A. Jain, and K. Mardia, "Matching of palmprints," Pattern Recognition Letters, vol.23, no.4, pp.477-485, 2002.
- [4] D. Zhang, W.K. Kong, J. You, and M. Wong, "Online palmprint identification," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol.25, no.9, pp.1041-1050, Sept. 2003.
- [5] A. Kong, D. Zhang, and M. Kamel, "Palmprint identification using feature-level fusion," Pattern Recognition, vol.39, no.3, pp.478-487, 2006.
- [6] K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima, K. Kobayashi, and T. Higuchi, "A palmprint recognition algorithm using phase-based image matching," Proc. the 2006 IEEE Int. Conf. Image Processing, pp.2669-2672, Oct. 2006.
- [7] K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima, K. Kobayashi, and T. Higuchi, "A palmprint recognition algorithm using phase-only correlation," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E91-A, no.4, April 2008. (to be published).
- [8] PolyU Palmprint Database, <http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/>
- [9] K. Ito, H. Nakajima, K. Kobayashi, T. Aoki, and T. Higuchi, "A fingerprint matching algorithm using phase-only correlation," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E87-A, no.3, pp.682-691, March 2004.
- [10] K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi, and H. Nakajima, "An implementation-oriented iris recognition algorithm using phase-based image matching," Proc. 2006 Int. Symp. Intelligent Signal Processing and Communication Systems, pp.231-234, Dec. 2006.
- [11] T. Shibahara, T. Aoki, H. Nakajima, and K. Kobayashi, "A sub-pixel stereo correspondence technique based on 1D phase-only correlation," Proc. the 2007 IEEE Int. Conf. Image Processing, pp.V-221-V-224, Sept. 2007.
- [12] J. Wayman, A. Jain, D. Maltoni, and D. Maio, Biometric Systems, Springer, 2005.