

# 位相限定相関法を用いた掌紋認証アルゴリズム

伊藤 康一<sup>†</sup> 青木 孝文<sup>†</sup> 中島 寛<sup>††</sup> 小林 孝次<sup>††</sup> 樋口 龍雄<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 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

<sup>††</sup> 株式会社山武 〒259-1195 伊勢原市鈴川 54

<sup>†††</sup> 東北工業大学工学部 〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町 35-1

E-mail: [†ito@aoki.ecei.tohoku.ac.jp](mailto:†ito@aoki.ecei.tohoku.ac.jp)

あらまし 現在までに報告されている一般的な掌紋認証アルゴリズムは、それぞれの掌紋画像から特徴を抽出し、その特徴間の距離に基づいて認証するアルゴリズムである。特徴を用いた掌紋認証アルゴリズムは、特徴抽出において多数のパラメータ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。これらのパラメータは、掌紋パターンを採取する際の環境に依存して変化させる必要がある。これに対して、本論文では、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する。掌紋画像データベースを用いた性能評価実験を通して、提案手法が従来手法と比べて高性能であることを示す。

キーワード 掌紋認証, 位相限定相関法, バイオメトリクス, 個人認証, セキュリティ

## A Palmprint Recognition Algorithm Using Phase-Only Correlation

Koichi ITO<sup>†</sup>, Takafumi AOKI<sup>†</sup>, Hiroshi NAKAJIMA<sup>††</sup>, Koji KOBAYASHI<sup>††</sup>, and Tatsuo

HIGUCHI<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

6-6-05, Aramaki Aza Aoba, Sendai-shi 980-8579, Japan

<sup>††</sup> Yamatake Corporation 54, Suzukawa, Isehara-shi 259-1195, Japan

<sup>†††</sup> Faculty of Engineering, Tohoku Institute of Technology

35-1, Kasumi-cho, Sendai-shi 982-8577, Japan

E-mail: [†ito@aoki.ecei.tohoku.ac.jp](mailto:†ito@aoki.ecei.tohoku.ac.jp)

**Abstract** A major approach for palmprint recognition today is to extract feature vectors corresponding to individual palmprint images and to perform palmprint matching based on some distance metrics. One of the difficult problems in feature-based recognition is that the matching performance is significantly influenced by many parameters in feature extraction process, which may vary depending on environmental factors of image acquisition. This paper presents a palmprint recognition algorithm using phase-based image matching. The use of phase components in 2D (two-dimensional) discrete Fourier transforms of palmprint images makes possible to achieve highly robust palmprint recognition. Experimental evaluation using a palmprint image database clearly demonstrates an efficient matching performance of the proposed algorithm.

**Key words** palmprint recognition, phase-only correlation, biometrics, person authentication, security

### 1. ま え が き

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。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 [1]。

掌紋は、手の内側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、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性能を持っているだけでなく、カメラ等を使って非接触・非拘束で撮影することができる。これらの特徴は、バイオメトリクス認証に用いる身体的な特徴として個人の識別性、認証システムの利便性において非常に有用である。

現在までに報告されている掌紋認証アルゴリズムは、それぞれの掌紋画像から特徴量を抽出し、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 [1] ~ [4]。特徴に基づく掌紋認証アルゴリズムは、特徴抽出における多数のパラメータ（例えば、位置、角度、周波数、Gabor 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。これらのパラメータは、掌紋パターンを採取する際の環境に依存して変化させる必要がある。

これに対して、本論文では、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) を用いた掌紋アルゴリズムを提案する。POC を用いた画像照合手法は、コンピュータビジョンのためのサブピクセル画像位置あわせ手法として有用である [5], [6]。また、バイオメトリクス認証への応用として、POC は、指紋認証と虹彩認証へ適用され、その有効性が確認されている [7] ~ [11]。本論文では、指紋認証や虹彩認証と同様に画像の位相情報を用いた照合手法が掌紋認証にも有効であることを示す。また、PolyU 掌紋データベース [12] を用いた性能評価実験を通して、特徴を用いた認証アルゴリズムよりも提案手法の方が高性能であることを示す。

## 2. 位相限定相関法

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。

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

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 [7]。

本論文で提案する掌紋認証では、バイオメトリクス認証に特化した 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 [7]。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、高周波領域にはノイズなどの意味のない情報が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照合手法である。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。

実際に、POC 関数  $r_{fg}$  と BLPOC 関数  $r_{fg}^{K_1 K_2}$  を使って本人ペアの照合を行った例を図 1 に、他人ペアの照合を行った例を図 2 に示す。これより、POC 関数よりも BLPOC 関数を用いた方が識別性能が高いことがわかる。

## 3. 掌紋認証アルゴリズム

位相限定相関法を用いた掌紋認証アルゴリズムについて述べる。本論文で提案する掌紋認証アルゴリズムは、(i) 掌の形状を利用した位置合わせではなく、位相限定相関法を用いた高精度な画像位置合わせ手法を利用することと、(ii) 画像をフーリエ変換することで得られる位相情報を利用して照合することが特徴である。

現在までに提案されている掌紋認証アルゴリズムでは、掌の

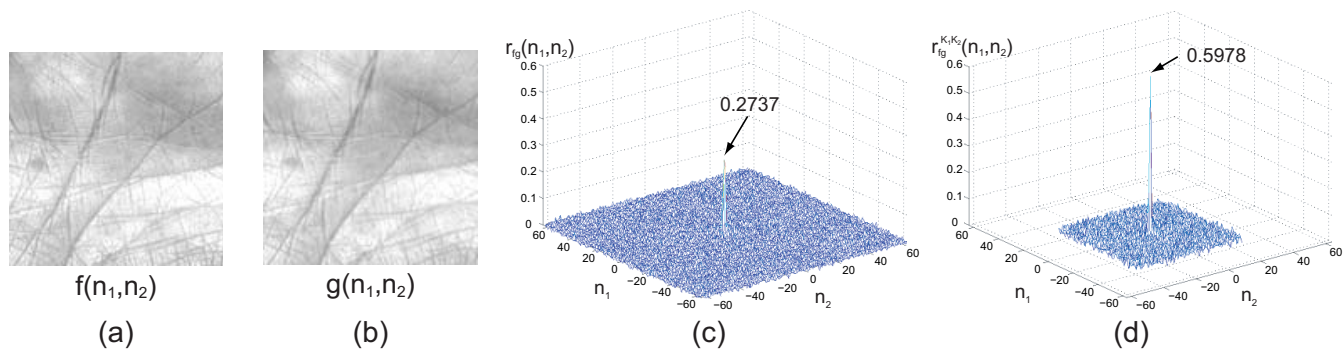


図 1 POC と BLPOC を使って本人ペアを照合した例：(a) 登録画像  $f(n_1, n_2)$ , (b) 入力画像  $g(n_1, n_2)$ , (c) POC 関数  $r_{fg}(n_1, n_2)$ , (d) BLPOC 関数  $r_{fg}^{K_1 K_2}(n_1, n_2)$  ( $K_1/M_1 = K_2/M_2 = 0.5$ )

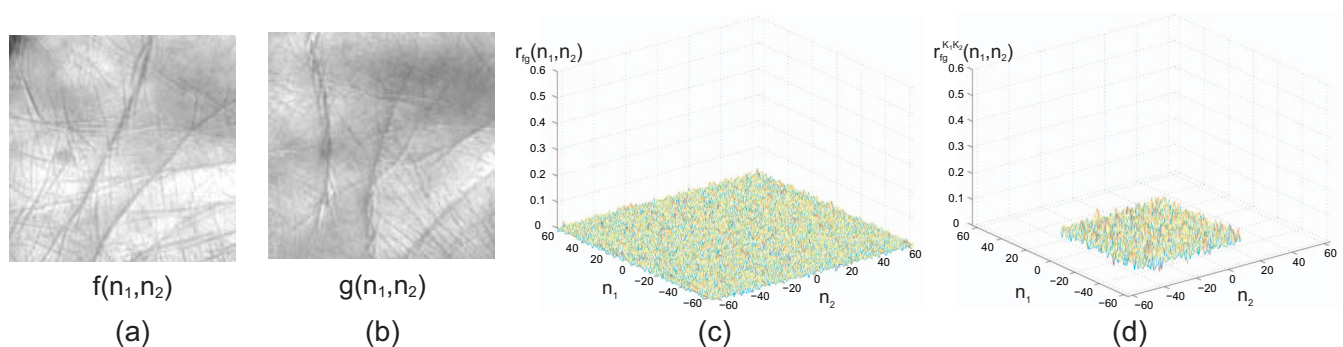


図 2 POC と BLPOC を使って他人ペアを照合した例：(a) 登録画像  $f(n_1, n_2)$ , (b) 入力画像  $g(n_1, n_2)$ , (c) POC 関数  $r_{fg}(n_1, n_2)$ , (d) BLPOC 関数  $r_{fg}^{K_1 K_2}(n_1, n_2)$  ( $K_1/M_1 = K_2/M_2 = 0.5$ )

形状を利用して掌紋領域を切り出し、掌紋間の位置合わせを行っている [2] ~ [4]。そのため、手の置き位置の変化により生じる歪みや、掌の空間的な位置の変化による拡大・縮小、回転などによって性能が劣化する問題がある。これに対して、提案アルゴリズムでは、位相限定相関法を用いた高速で高精度な拡大・縮小率、回転角度、平行移動量推定手法 [6] を利用し、掌紋画像間の位置合わせを行う。掌紋画像の拡大・縮小に対応した位置合わせを行うため、固定具などを用いない認証システムを実現することができる。

掌紋画像の特徴を用いた認証アルゴリズムでは、指紋認証で一般的に用いられている特徴点を利用したアルゴリズムや Gabor フィルタを使って抽出した特徴を利用したアルゴリズムが提案されている [2] ~ [4]。しかし、特徴抽出のためには、多くのパラメータを最適化する必要があることや、それらのパラメータを撮影環境によって変化させなければならないことが問題である。これに対して、提案アルゴリズムでは、BLPOC 関数を計算する際の制限帯域幅のパラメータ  $K_1/M_1$ ,  $K_2/M_2$  を最適化する必要がある。このパラメータは、撮影するカメラなどの解像度にも依存するので、撮影環境の変化に対してロバストである。

提案するアルゴリズムは、(i) 拡大・縮小、回転、平行移動の補正、(ii) 共通領域抽出、(iii) 照合の 3 ステップで構成される。それぞれの処理について以下で説明する。

### 3.1 拡大・縮小、回転、平行移動の補正

1 ステップ目では、正確に照合するために、登録画像  $f(n_1, n_2)$  と入力画像  $g(n_1, n_2)$  の間の拡大・縮小、回転、平行移動を補正する。

まず、画像に含まれている掌以外の部分（指や背景など）の影響を除去するために、登録画像  $f(n_1, n_2)$  と入力画像  $g(n_1, n_2)$  に対して 2 次元窓関数を適用する。本実験では、掌紋パターンの重心に対して 2 次元ハニング窓を適用する。掌紋の重心は、 $n_1$  方向と  $n_2$  方向に対する画素値の投影 (projection) を利用することで検出する。図 3 (a) は、登録画像  $f(n_1, n_2)$  と入力画像  $g(n_1, n_2)$ 、それぞれの重心である。また、図の (b) は、2 次元ハニング窓を適用した後の画像  $f_w(n_1, n_2)$  と  $g_w(n_1, n_2)$  である。

次に、窓関数を適用した画像間の拡大・縮小率、回転角度を求める。そこで、 $f_w(n_1, n_2)$  と  $g_w(n_1, n_2)$  の振幅スペクトルを利用した拡大・縮小率、回転角度推定手法を用いる。推定手順を以下に示す（詳しくは、文献 [6] を参考にされたい）。

(1) 2 次元窓関数を適用した後の画像  $f_w(n_1, n_2)$  と  $g_w(n_1, n_2)$  の 2 次元 DFT を計算し、それぞれ  $F_w(k_1, k_2)$  と  $G_w(k_1, k_2)$  とする。

(2) それぞれの振幅スペクトル  $|F_w(k_1, k_2)|$  と  $|G_w(k_1, k_2)|$  を求める (図 4 (b))。自然画像の場合は、ほとんどのエネルギーが低周波領域に集中しているため、 $|F_w(k_1, k_2)|$  と  $|G_w(k_1, k_2)|$

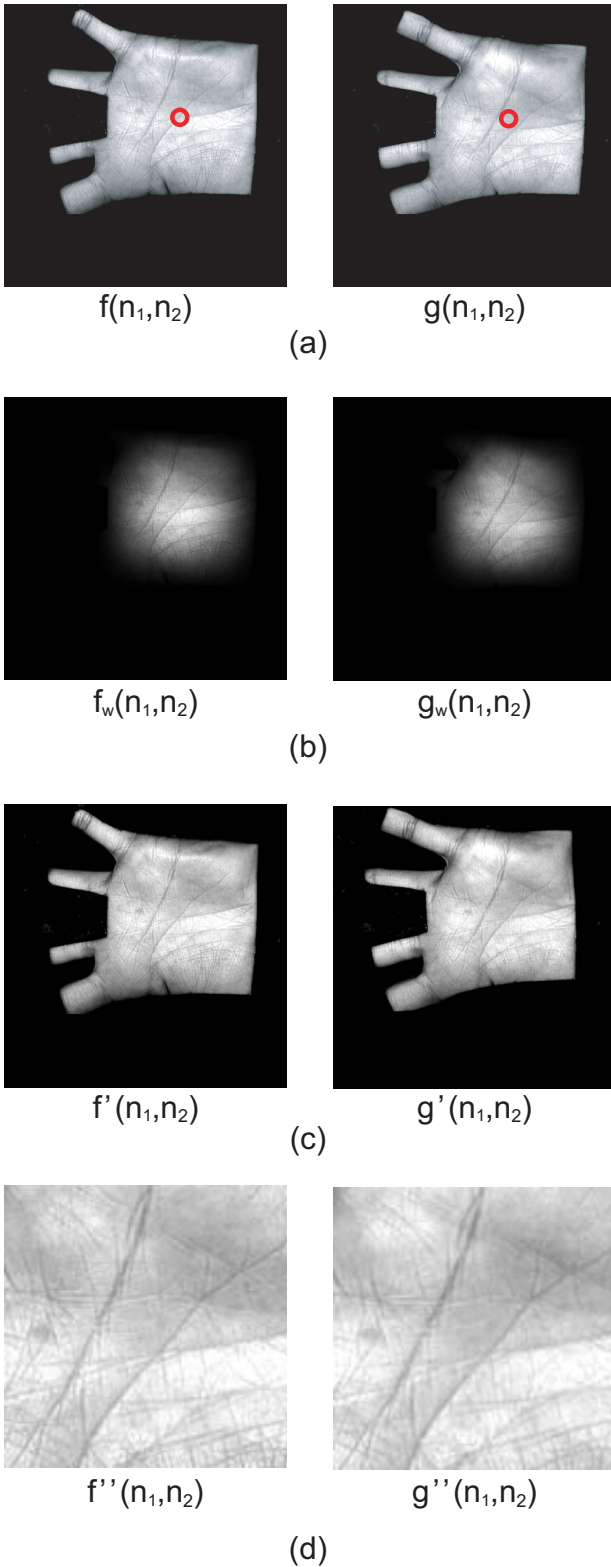


図3 拡大・縮小，回転，位置の補正と共通領域抽出：(a) 登録画像  $f(n_1, n_2)$  と入力画像  $g(n_1, n_2)$ ，(b) 2次元ハニング窓を適用した後の画像  $f_w(n_1, n_2)$  と  $g_w(n_1, n_2)$ ，(c) 補正した後の画像  $f'(n_1, n_2)$  と  $g'(n_1, n_2)$ ，(d) 抽出した共通領域  $f''(n_1, n_2)$  と  $g''(n_1, n_2)$

の代わりに，対数化した振幅スペクトルである  $\log |F_w(k_1, k_2)|$  と  $\log |G_w(k_1, k_2)|$  を使用する（図4(c））。

(3) 対数極座標変換 (log-polar mapping) を計算して，

$|F_{LP}(l_1, l_2)|$  と  $|G_{LP}(l_1, l_2)|$  を求める（図4(d））。

(4)  $|F_{LP}(l_1, l_2)|$  と  $|G_{LP}(l_1, l_2)|$  との間のBLPOC関数  $r_{|F_{LP}||G_{LP}|}^{K_1 K_2}(n_1, n_2)$  を計算し，相関ピークの位置を検出することで，画像間の移動量を求める。そして，求めた移動量より，画像間の拡大・縮小率  $\lambda$  と回転角度  $\theta$  を計算する。

求めた  $\lambda$  と  $\theta$  を用いて，拡大・縮小と回転を補正した入力画像  $g_{w\theta\lambda}(n_1, n_2)$  を求める。そして， $f_w(n_1, n_2)$  と  $g_{w\theta\lambda}(n_1, n_2)$  の間のBLPOC関数  $r_{f_w g_{w\theta\lambda}}^{K_1 K_2}(n_1, n_2)$  を計算し，相関ピーク的位置から画像間の平行移動量を求める。

以上のように求めた拡大・縮小率，回転角度，平行移動量を用いて， $f(n_1, n_2)$  と  $g(n_1, n_2)$  を正規化する。正規化した画像を  $f'(n_1, n_2)$  と  $g'(n_1, n_2)$  とする。図3(c)に，拡大・縮小，回転，平行移動を補正した後の画像を示す。

### 3.2 共通領域抽出

次に，正規化した画像  $f'(n_1, n_2)$  と  $g'(n_1, n_2)$  の共通領域を抽出する。BLPOC関数において，画像間で重なっていない領域は無相関なノイズ成分となるので，正確に照合するためには共通領域のみを抽出する必要がある。 $f'(n_1, n_2)$  と  $g'(n_1, n_2)$  の共通領域抽出には， $n_1$  方向と  $n_2$  方向に対する画素値の投影を利用する。抽出された共通領域は同じ大きさであり，それぞれ  $f''(n_1, n_2)$  と  $g''(n_1, n_2)$  とする。図3(d)に抽出された共通領域を示す。

### 3.3 照合

最後に，共通領域  $f''(n_1, n_2)$  と  $g''(n_1, n_2)$  の間のBLPOC関数  $r_{f'' g''}^{K_1 K_2}(n_1, n_2)$  を計算し，照合スコアを求める。多くの場合，図5のように，掌紋画像間に生じた歪みにより，BLPOC関数に複数のピークが現れる。画像間の歪みは，画像内の小領域がそれぞれ平行移動していることを意味しているので，BLPOC関数に現れる複数の相関ピークは，画像間で一致したそれぞれの小領域を示している。そこで，照合スコアは，BLPOC関数  $r_{f'' g''}^{K_1 K_2}(n_1, n_2)$  の最大ピークから  $P$  個の和とする。

## 4. 実験と考察

PolyU 掌紋画像データベース [12] を用いた性能評価実験について述べる。データベースには，100人の被験者からそれぞれ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。図6に，データベースに格納されている掌紋画像の例を示す。図のように，データベースには，照明条件が異なる掌紋画像や，歪んだ掌紋画像が多数ある。

一般的に，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。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，本人受け入れ率 (Genuine Acceptance Rate: GAR) に対する他人受け入れ率 (False Acceptance Rate: FAR) をプロットすることで描かれる。まず，GAR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 ( ${}_6C_2 \times 100 = 1500$ ペア) について照合実験を行う。続いて，FAR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 ( ${}_100C_2 = 4950$ 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， $100 - \text{GAR} = \text{FAR}$  で定義される EER

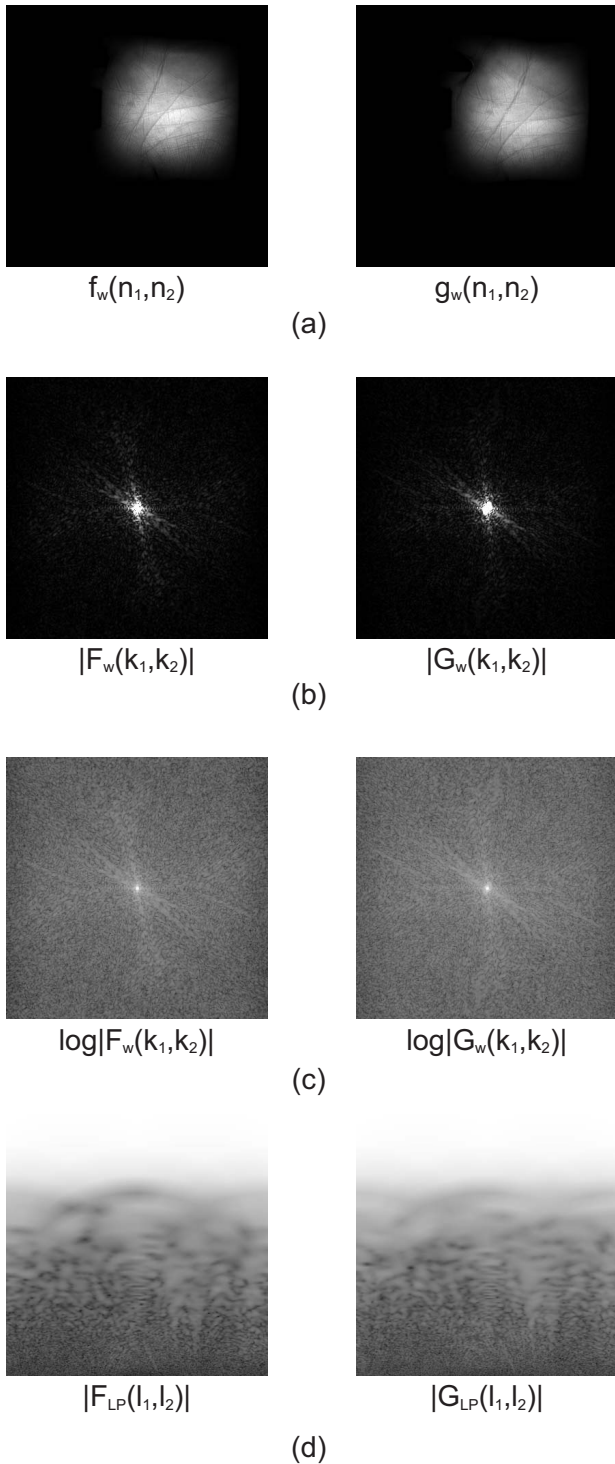


図 4 振幅スペクトルを利用した拡大・縮小率，回転角度の推定：(a) 窓関数を適用した後の画像，(b) 振幅スペクトル，(c) 対数化した振幅スペクトル，(d) 極座標展開した振幅スペクトル（拡大・縮小率 0.9957%，回転角度  $-4.0191^\circ$ ）

(Equal Error Rate) も用いる。

まず，入力画像サイズと BLPOC 関数の制限帯域幅のパラメータ  $K_1/M_1$  と  $K_2/M_2$ ，照合スコアを算出する際に足し合わせるピークの数  $P$  を変化させて，計算時間を短くするとともに，性能を最適化する実験を行う。現在までに，位相限定相関法を用いた指紋認証において，認証性能を低下することなく

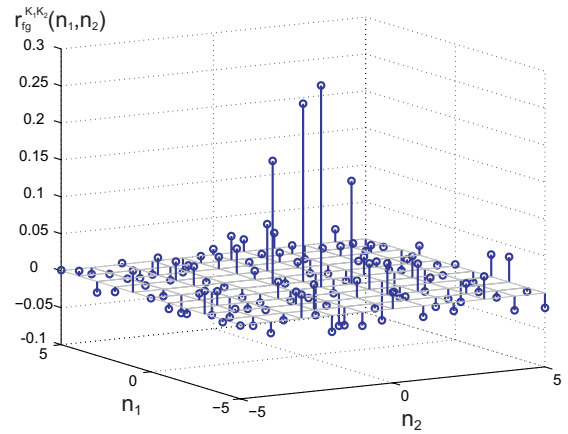


図 5 掌紋画像間に歪みがある場合の BLPOC 関数（ピーク付近の拡大図）

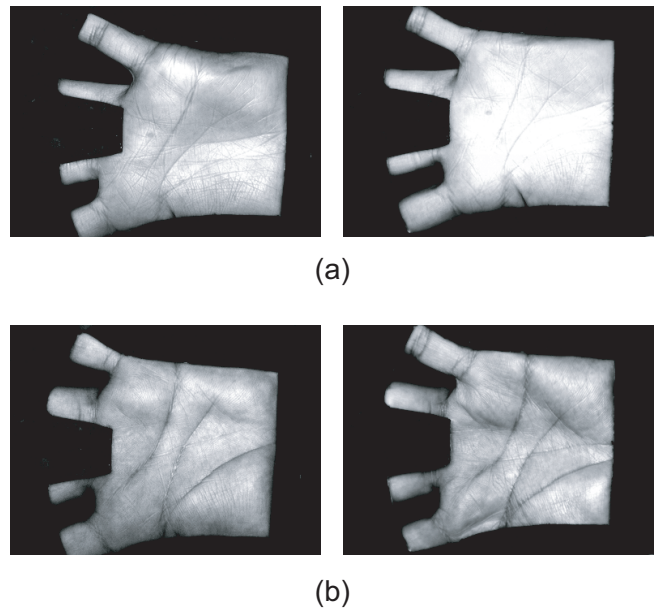


図 6 PolyU 掌紋画像データベースに格納されている画像の例：(a) 画像間の照明条件が異なる本人ペア，(b) 画像間に大きな歪みがある本人ペア

画像サイズを小さくできることが報告されている [9]。位相限定相関法を用いた掌紋認証においても同様な傾向を持っていると考えられる。図 7 は，画像サイズの縮小率を変化させたときの提案手法の EER と計算時間を示したグラフである。このグラフでは，それぞれのポイント（画像縮小率）において最適な BLPOC 関数のパラメータ  $K_1/M_1$  と  $K_2/M_2$  と照合スコア算出のために足し合わせるピーク数  $P$  を用いた時の EER と計算時間を示している。この実験において，画像サイズの縮小率は 10% から 100% まで 5% 刻みで，パラメータ  $K_1/M_1$  と  $K_2/M_2$  は 0.05 から 1.00 まで 0.05 刻みで，ピーク数  $P$  は 1 個から 10 個まで変化させた。計算時間は，Pentium4 3.2 GHz 上の MATLAB で調べた。実験結果より，縮小率を 50%， $K_1/M_1 = K_2/M_2 = 0.75$ ， $P = 1$  と設定したときに最適な性能が得られた。この時の EER は 0.12% で，計算時間は 0.29 秒であった。

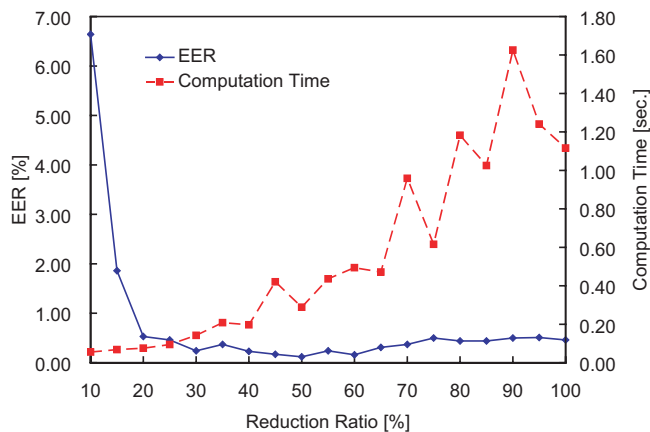


図 7 画像の縮小率に対する EER と計算時間の変化

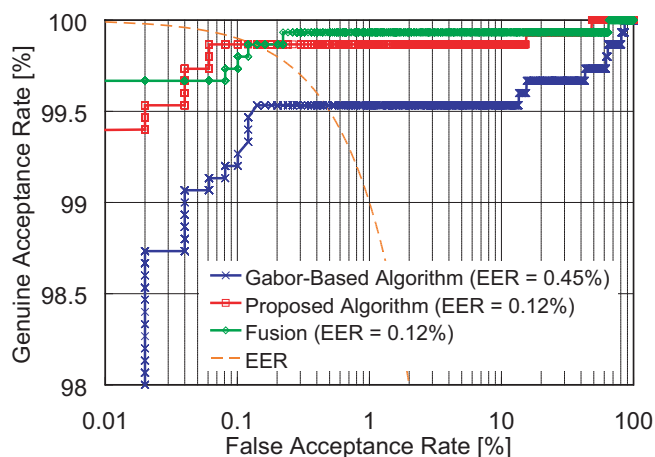


図 8 それぞれのアルゴリズムに対する ROC 曲線と EER

次に、従来手法 (A) と提案手法 (B) の性能を比較する。本論文では、従来手法として、Zhang らが提案している Gabor フィルタを用いた照合手法を実装した [3]。図 8 は、2 つの照合手法の ROC 曲線と EER である。提案手法 (B) は、従来手法 (A) と比較して、高い GAR、低い FAR となる位置に ROC 曲線があるので、性能が高いことを示している。また、提案手法の EER が 0.12% であるのに対して、従来手法の EER が 0.45% であることから、提案手法の性能が高いことがわかる。提案手法と従来手法のそれぞれから得られたスコアを組み合わせることで、さらに性能を向上させることができる。ここでは、2 つのスコアの平均値を新しい照合スコアとした。2 つのスコアを組み合わせることで、EER は提案手法と同じであるが、FAR が低いときの GAR を向上することができる。

以上の実験結果より、本論文で提案する位相限定相関法を用いた掌紋認証アルゴリズムは、状態のよい画像だけではなく、解像度が低い画像や撮影状態の悪い画像に対しても有効であることを確認した。

## 5. む す び

本論文では、位相限定相関法を用いた掌紋認証アルゴリズムを提案した。掌紋画像データベースを用いた性能評価実験を通して、提案手法は、従来手法である特徴を用いた手法より高性

能であることを示した。また、現在までに提案されている位相限定相関法を用いた指紋認証アルゴリズムや虹彩認証アルゴリズムと同様に、掌紋認証においても位相限定相関法が有効に働くことを示した。これより、位相限定相関法を用いた認証システムのみで指紋認証と虹彩認証、掌紋認証を実現することが可能となる。現在は、マルチモーダルバイオメトリクス認証システムを実現するために、複数の認証システムが必要となり、認証システムの規模が大きくなってしまいう問題がある。これに対して、今後は、位相限定相関法を用いた認証システムを用いることで、単一の認証システムによるコンパクトなマルチモーダルバイオメトリクス認証システムの実現が期待される。

## 文 献

- [1] D. Zhang, *Palmprint Authentication*, Kluwer Academic Publication, 2004.
- [2] N. Duta, A. Jain, and K. Mardia, "Matching of palmprints," *Pattern Recognition Letters*, vol.23, no.4, pp.477-485, 2002.
- [3] 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.
- [4] A. Kong, D. Zhang, and M. Kamel, "Palmprint identification using feature-level fusion," *Pattern Recognition*, vol.39, no.3, pp.478-487, 2006.
- [5] C.D. Kuglin and D.C. Hines, "The phase correlation image alignment method," *Proc. Int. Conf. Cybernetics and Society*, pp.163-165, 1975.
- [6] K. Takita, T. Aoki, Y. Sasaki, T. Higuchi, and K. Kobayashi, "High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.E86-A, no.8, pp.1925-1934, Aug. 2003.
- [7] 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.
- [8] K. Ito, A. Morita, T. Aoki, T. Higuchi, H. Nakajima, and K. Kobayashi, "A fingerprint recognition algorithm combining phase-based image matching and feature-based matching," *Lecture Notes in Computer Science (ICB2006)*, vol.3832, pp.316-325, Dec. 2005.
- [9] H. Nakajima, K. Kobayashi, M. Morikawa, A. Katsumata, K. Ito, T. Aoki, and T. Higuchi, "Fast and robust fingerprint identification algorithm and its application to residential access control products," *Lecture Notes in Computer Science (ICB2006)*, vol.3832, pp.326-333, Dec. 2005.
- [10] K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi, and H. Nakajima, "An efficient iris recognition algorithm using phase-based image matching," *Proc. the 2005 IEEE Int. Conf. Image Processing*, pp.II-49-II-52, Sept. 2005.
- [11] K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi, and H. Nakajima, "A phase-based iris recognition algorithm," *Lecture Notes in Computer Science (ICB2006)*, vol.3832, pp.356-365, Dec. 2005.
- [12] PolyU palmprint database, <http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/>