

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[†] 青木 孝文[†] 中島 寛^{††} 小林 孝次^{††} 樋口 龍雄^{†††}

[†] 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

^{††} 株式会社山武 〒259-1195 伊勢原市鈴川 54

^{†††} 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

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[†], Takafumi AOKI[†], Hiroshi NAKAJIMA^{††}, Koji KOBAYASHI^{††}, and Tatsuo

HIGUCHI^{†††}

[†] Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

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

^{††} Yamatake Corporation 54, Suzukawa, Isehara-shi 259-1195, Japan

^{†††} Faculty of Engineering, Tohoku Institute of Technology

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

E-mail: †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

