

共通マニューシャ抽出アルゴリズムによる指紋認証システム“CME”

小西 亨

青木 良樹†

永井 慧††

菊池 浩明†

東海大学情報理工学部情報メディア学科†

東海大学大学院工学研究科††

1 はじめに

安全性、利便性が高い指紋認証が実用化され、普及し始めている。しかしながら、登録時と認証時のセンサが同一機種でないと、指紋画像の画質や隆起線の太さ、画像のサイズにばらつきが生じ、認証できない問題がある。

そこで本研究では、異なるセンサで撮影した指紋画像でもマッチングを可能とする共通マニューシャ抽出アルゴリズム CME (Common Minutiae Extractor) を提案する。また、提案方式の有意性を示すため、Java による試験実装を行い、精度と処理性能を報告する。

2 提案方式

2.1 概要

異なる指紋読取装置により撮影される指紋画像は、画質や大きさが異なり、従来のマニューシャの絶対値での比較が行えない。そこで提案方式では、マニューシャの相対的な値を用いて偽マニューシャを削減し、マニューシャ集合の比較を行う。マニューシャの抽出には NIST Fingerprint Image Software2 (NFIS2) [1] を用いた。

2.2 M(i)-tuple

マニューシャ i の位置と角度の相対的な関係を表す特徴ベクトル “M(i)-tuple” を次の様に定める。

i 番目のマニューシャを基準とし、ユークリッド距離の 10 近傍のマニューシャ間のユークリッド距離の比 $r_i(j, k)$ と角度 $\theta_i(j, k)$ を i の tuple の要素とする。10 個のマニューシャの中の異なる組 (j, k) について、角度 $\theta_i(j, k)$ は $\angle jik$ の大きさ、距離比 $r_i(j, k)$ は次の (1) 式の様に定める。

$$r_i(j, k) = \frac{\max(d(i, j), d(i, k))}{\min(d(i, j), d(i, k))} \quad (1)$$

ただし、ここで $d(i, j)$ は ij 間のユークリッド距離である。

$i = 2$ の 4 近傍の例を図 1 に示す。この例での距離比は、 $r_2(0, 4) = \frac{\max(0.93, 0.81)}{\min(0.93, 0.81)} = 1.14$ である。こうし

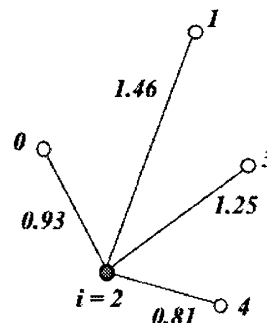


図 1: マニューシャ 2 の 4 近傍とユークリッド距離

表 1: M(2)-tuple の例

j, k	$r_i(j, k)$	$\theta_i(j, k)$
0, 1	1.56	50
0, 3	1.34	80
0, 4	1.14	150
1, 3	1.16	30
1, 4	1.80	90
3, 4	1.54	45

て、 N 個のマニューシャのそれぞれについて、 N 個の tuple を作成する。

近傍 10 点との比較を行うと、 ${}_{10}C_2 = 21$ 個の距離比と角度があり、計 2×45 次元のベクトルを M(i)-tuple とする。図 1 を例として作成した tuple を表 1 に示す。

2.3 提案方式：(I) 共通マニューシャ候補抽出

登録画像をベースイメージ (BM)、入力画像をインプットイメージ (IM) とする。BM と IM についての tuple を各々 M_i と M'_i とする。 M_i 、 M'_i を総当たりで比較し、次の手順でマニューシャ間の共通マニューシャ候補を抽出する。

2 つの tuple を $M(i) = (r_1, \dots, r_n, \theta_1, \dots, \theta_n)$ 、 $M'(j) = (r'_1, \dots, r'_n, \theta'_1, \dots, \theta'_n)$ とする時、類似度 $S_{i,j}$ を $S_{i,j} = \sum_{\ell=1}^n s_{i,j}(\ell)$ とする。ここで、

$$s_{i,j}(\ell) = \begin{cases} 1 & \text{if } (r'_k, \theta'_k) \text{ and } (r_\ell, \theta_\ell) \text{ are similar} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

と定める。ただし、 λ_r 、 λ_θ は閾値であり、後述する

CME - Fingerprint Authentication Algorithm Using Common Minutiae Extractor

† Yoshiki Aoki, Toru Konishi, Hiroaki Kikuchi ({onionsong, neet, kiken}@cs.dm.u-tokai.ac.jp), School of Information Science and Technology, Tokai University

†† Kei Nagai (string8@cs.dm.u-tokai.ac.jp), Graduate School, Tokai University

実験では $\lambda_r = 0.01$, $\lambda_\theta = 3.5$ を用いた. n は tuple の次元であり, 10 近傍のとき $n = 45$ である. $S_{i,j}$ は, すなわち, 閾値未満で一致する tuple の要素の数であり, 最大 n^2 をとる.

BM の N_B 個のマニューシャと IM の N_I 個のマニューシャの全ての 2 個について, 閾値を $T_1 = 3$ を満たす共通マニューシャ候補集合を

$$C = \{(i, j) \mid S_{i,j} \geq T_1\}$$

と定める.

2.4 提案方式: (II) スコア算出

絞り込んだ全ての共通マニューシャ候補において, 同様の手法でより厳密な共通マニューシャ組を抽出する.

Step 1: 全ての共通マニューシャ候補 $(i, j) \in C$ について (2.9) 式により類似度を求める. ただし, $m = |C|$, 閾値 $\lambda_r = 0.2$, $\lambda_\theta = 3.5$ とする.

Step 2: こうして定められた $m \times m$ の類似度を, BM の Y 座標について $S_{i,j}$ をソートし直す. その行列を

$$D = \begin{pmatrix} S_{1,1} & \cdots & S_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{m,1} & \cdots & S_{m,m} \end{pmatrix}$$

とおく. インデックス集合 $K_1 = \{1, \dots, m\}$, $J_1 = \phi$ とする.

Step 3: $k = 1, \dots, m$ について, $j = 1, \dots, m$ で $S_{k,j}$ の最大値をとるものを j_k とおく.

j_k について, $S_{k,j_k} > T_2$ ならば,

$$\begin{aligned} J_{k+1} &= J_k \cup \{j_k\}, \\ K_{k+1} &= \{\ell \in K_k \mid \ell > j_k\} \end{aligned}$$

と更新し, Step 3 を繰り返す. ここで, T_2 は閾値であり, 実験では $T_2 = 15$ とした. 条件を満たさなければ, $K_{k+1} = K_k$, $J_{k+1} = J_k$ とする.

Step 4: IM のスコアを, $S_{IM} = |J_m|$ とする. $S_{IM} \geq T_3$ であったならば, IM は BM とマッチしているとする. T_3 はマッチングの厳密さを決める閾値である.

3 評価実験

3.1 本人拒否率 (FRR), 他人受入率 (FAR) の算出

FRR: 被験者 1 人の指紋を 551 枚収集する. そのうち 1 枚の指紋画像を BM とし, 残りの 550 枚の IM を照合する.

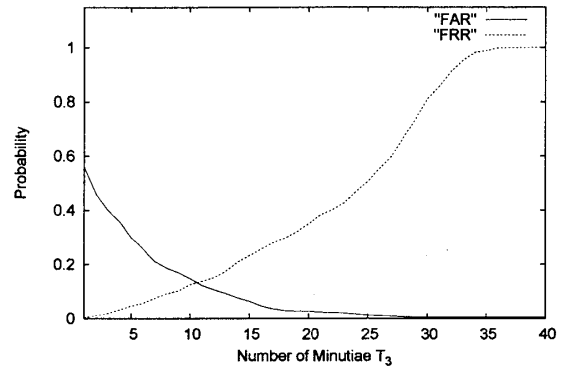


図 2: 認証精度



図 3: マッチング実行例 (左:BM, 右:IM)

FAR: 被験者 11 人の指紋を 1 人につき 50 枚収集する. FRR と同様の BM に対して, 被験者それぞれの指紋 50 枚を照合する. 図 2 は T_3 を変化させた時の認証精度を示す. 図 3 にサイズの異なる 2 つの画像について, 提案方式を適用した結果を示す.

4 おわりに

マニューシャ間の距離比と角度を利用することで, 画像の拡大, 縮小にロバストな指紋マッチングアルゴリズムを提案した. また, この提案アルゴリズムの試験実装を行なった結果, 閾値 $T_3 = 11$ の時に $FAR = 12\%$, $FRR = 13\%$ を得た.

今後の課題として, 精度の向上や最適な閾値の組み合わせを見つけ出す事等が挙げられる.

参考文献

- [1] "NIST Fingerprint Image Software 2 (NFIS2)".
- [2] A. Chandrasekaran, et al, "Fingerprint algorithm Based on Tree Comparison using Ratios of Relational Distances", The 2nd Int. Conf. on Availability, Reliability and Security, pp. 273-280, 2007.