

# フーリエ変換を用いた指紋の識別

西村祐美 (指導教員：吉田裕亮)

## 1 はじめに

ヒトの指紋は同じものがなく、それぞれ多くの特徴を持つ。指紋の形は皮下組織まで破壊されない限り一生変わらない。そのため指紋を本人確認の証拠として使われることは古くから行われている。

指紋の識別・判定方法には、明確な国際規定があり、公平で高精度な識別・判定が可能となっている。そのため、指紋の鑑定は捜査段階での冤罪防止や裁判官が判決を出す際の重要な資料となる。

本研究では、指紋を 2 値画像データ化したものをフーリエ変換で特徴点を抽出することによって識別を行う。多変量の指紋データを白と黒の 2 値画像データにすることで、画像からの検出対象の抽出が容易になり、判定処理なども高速に実行できるようになる。

また、フーリエ変換は、複雑な関数を周波数成分に分解してより簡単に記述することができるため、音や光、振動、コンピュータグラフィックス、医療など幅広い分野で用いられている。フーリエ変換を施すことによって 2 値画像データからそれぞれの周期性を現すことができ、特徴点を抽出することができる。

この 2 値画像データ化した指紋と離散フーリエ変換を用いた指紋識別への適用可能性を検証する。なお変換結果を 2 次元に要約する目的で PCA 法を用いる。

## 2 フーリエ変換

$f(x) \in L^1(\mathbb{R})$  に対して、次をフーリエ変換という。

$$\tilde{f}(\xi) = \int f(x)e^{-2\pi i x \xi} dx$$

フーリエ変換は、時間や空間座標などを変数とする関数を周波数が変数の関数に変換する。デジタル画像なども 2 次元の信号であるとみなすことができ、画像処理にもフーリエ変換がよく使われる。ただし、通常、フーリエ変換で扱おうとする画像は、標準化されたデジタル信号であり、有限回の計算で終わらなければならない。このような制約をうけたフーリエ変換を特に離散的フーリエ変換 (discrete fourier transform) と呼んでいる。

本研究では離散フーリエ変換を用いる。長さ  $n$  のリスト  $u_r$  の離散フーリエ変換  $v_s$  は、以下のように定義される。

$$\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{r=1}^n u_r \exp \frac{2\pi i (s-1)r}{n}$$

離散フーリエ変換は、三角関数と積和計算だけで表されており、有限回で計算させることが可能となる。しかし、離散フーリエ変換にも計算量が膨大になるという課題がある。この課題を解決する方法として、高速フーリエ変換 (fast fourier transform) というアルゴリズムが用いられる。データ数が 2 のべき乗の場合のみに限定されるが、計算量を大幅に減らすことができる。そのため、デジタル画像のフーリエ変換処理にはほとんどの場合高速フーリエ変換が用いられる。

## 3 主成分分析 PCA

PCA(principal component analysis) とは、多次元データの情報をその総合力の特性を保ちながら、より低い次元に縮約させる方法。

$X$  を  $p \times n$  のデータ行列とし、 $X$  の縦成分 (変数) ごとに標準化し、その行列を  $X_0$  とする。この標準化されたデータの相関行列  $R$  を求める

$$R = \frac{1}{p}(X_0)^t X_0$$

行列  $R$  の固有方程式を解き、 $n$  個の固有値と、各々の固有値に対応する固有ベクトルからなる行列  $V$  を求める。固有値は元データの情報保持率を表すことになる。標準化されたデータ行列  $X_0$  を、

$$X_0 V = X^*$$

と変換する。 $X^*$  の第 1 列目は第 1 主成分、 $X^*$  の第 2 列目は第 2 主成分と呼ばれる。

## 4 提案手法

本研究では、フーリエ変換を用いて、指紋の識別を次のように行うことを提案する。

1. 指紋の画像をとり、2 値データ化を行う。
2. 2 値データを 1 次元に配置し、離散フーリエ変換を施す。
3. 画像の縦幅ごとに周期性が表れるようになり、特徴が現れる最初の周期分のスペクトルを抽出し、特徴ベクトルとする。
4. PCA を用いて抽出した特徴ベクトルを高次元から 2 次元に縮約し、識別を行う。

## 5 指紋データ

実データとして、4 人分の人差し指の指紋データを用いる。画素数を  $350 \times 550$  とし、2 値画像に縮約する。1 人につき 25 個のデータを集め、4 人分で計 100 個のデータを用いる。各指紋データ 25 個を適当に別の指紋データと合わせる。



図 1 : 2 値画像化した人差し指の指紋

## 6 実験結果

2 値化した画像データを 1 次元に配置し、離散フーリエ変換を施す。以下は離散フーリエ変換を施した結果である。

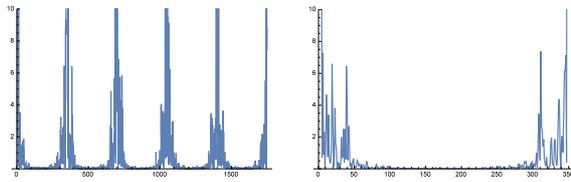


図 2：2 値画像に離散フーリエ変換を施した結果  
画像データの縦幅ごと、今回の場合では 350 次元ごとに周期性が現れるようになる。画像データごとの特徴が現れるのは最初の周期分であるので、最初の周期分のスペクトルを各画像データの特徴ベクトルとする。図 2 右側の画像は特徴ベクトルとなる最初の周期分を取り出した画像である。

以下は、各指紋の特徴ベクトルに PCA を施して識別を行った結果である。具体的には、

- a) データ数 各人 25 × 2 名 計 50
- b) データ数 各人 25 × 3 名 計 75
- c) データ数 各人 25 × 4 名 計 100

の 4 つの実験である。画像データを PBM 形式とし、各変換後のデータを PCA 法を用いて 2 次元に要約し、平面にプロットを行った。

- a) データ数 各人 25 × 2 名 計 50 の場合

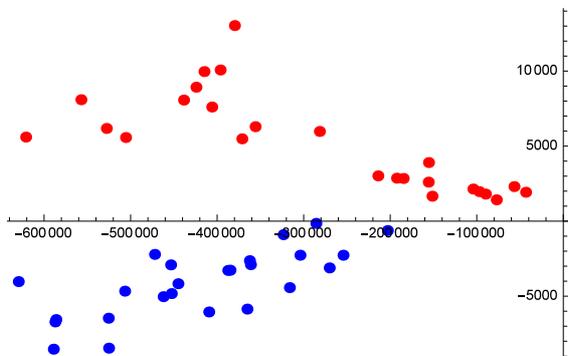


図 3：2 値指紋データのフーリエ変換結果

- b) データ数 各人 25 × 3 名 計 75 の場合

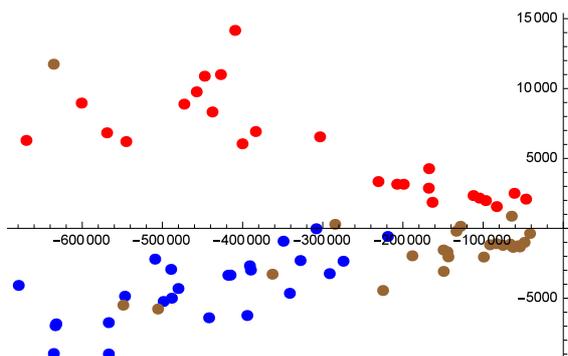


図 4：2 値指紋データのフーリエ変換結果

同色は同一人物の指紋である。各人物の指紋ごとにグループが分かれていることは確認できる。

- c) データ数 各人 25 × 4 名 計 100 の場合

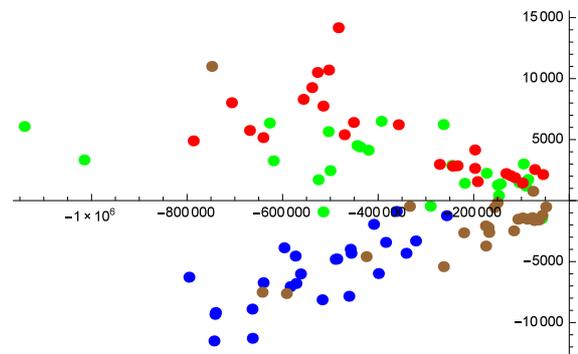


図 5：2 値指紋データのフーリエ変換結果

同色は同一人物の指紋である。赤色と緑色のプロットの群と、青色と茶色のプロットの群に分かれているのがわかる。これは、各群同市の指紋の特徴ベクトルが似通っているからだと考えられる。

## 7 まとめ

最初は 350 × 550 あったデータ量を、最終的に 2 次元までデータ量を落とし込んで識別できることが分かった。また、フーリエ変換を施し特徴をとらえることで、肉眼では各々の特徴をとらえられない画像データでも、類似点を確認できることがわかった。このことからフーリエ変換は、2 値画像データの識別の手法のひとつとして優れていることがわかった。

## 8 今後の課題について

識別する人数をさらに増やした場合も適用できるか検証したい。また、今回識別を行った指紋以外の 2 値データにおいてもこの手法が有効であるか確認したい。

## 参考文献

1. E. クライツィグ 著, 阿部寛治 訳, フーリエ変換と偏微分方程式, 培風館, 東京, 2003.
2. 周波数領域における画像処理, [http://www.clg.niigata-u.ac.jp/~medimg/practice\\_medical\\_imaging/imgproc\\_scion/5fourier/index.htm](http://www.clg.niigata-u.ac.jp/~medimg/practice_medical_imaging/imgproc_scion/5fourier/index.htm)
3. 遠藤真樹, ウェーブレット変換による筆跡の解析, お茶の水女子大学理学部情報科学卒業論文, 2011.