

疲弊紙幣判別のための特徴抽出法

大城 歩[†] 姜 東植[†] 宮城 隼夫[†] 小澤 建治[‡] 三井 郁吾[‡] 少路 進雄[‡]

琉球大学工学部[†]

日本金銭機械(株)[‡]

1. はじめに

ATM や自動販売機などの自動紙幣取扱機において、紙幣つり札自動払いを用意し業務の効率化をはかっている⁽¹⁾。利用者から投入された紙幣を循環が可能な紙幣(おつり札)と疲弊紙幣に分類して格納されている。その際、おつり札に疲弊紙幣が含まれると、自動紙幣取扱機の故障の原因となる。そのため、おつり札から疲弊紙幣を取り除くために疲弊紙幣を判別する手法の開発が求められている。

現在、疲弊紙幣の識別手法は、画像センサや赤外線センサなどを用いたものがあり、高い検出性能を示している⁽²⁾。しかし、それらの手法では、経験的に知られている疲弊が起りやすい部分をセンサで捜査することにより、識別を行っているため、紙幣の厳密な位置取りが必要となり、そのための機構を付加的に組み込む必要がある。また、日本国紙幣においてのみ経験的に知られている疲弊が起りやすい部位を識別の特徴量として使用しているため、他国の紙幣や他分野の紙質検査への直接的な応用ができない。一方、紙幣から発生した音響信号を用いた疲弊紙幣識別の研究も報告されている⁽³⁾。文献⁽³⁾では、得られた音響信号から振幅の差分を取り、特徴量として用いて、高い制度の識別ができていた。しかし、紙幣の新旧を分ける疲弊度を変更すると識別率が低下することがわかっている。

そこで、本研究では周波数に着目し、フーリエ変換(以下、FFT)や一般調和解析(以下、GHA)でフレーム毎に周波数を取り出す。また、3つのフレームからなるセグメントモデルを作成し、フレーム間の差分を取っていくことで特徴量を抽出する手法を提案し、実験によってその有効性を示す。

2. 基礎概念

ここでは、周波数を取り出すために用いる GHA、判別に用いる SVM について説明する。

(2.1) 一般調和解析 (GHA)

FFT 分析は任意の区間を分析する際、その起点と終点を結ぶ周期関数とみなすことで、それぞれを結ぶ点で不連続が生じ、実際の信号には含まれていない周波数成分を観測してしまうことがある。そこで、1958年に Wiener は GHA を提唱した⁽⁴⁾。そのアルゴリズムは、分析区間内の原信号から残差エネルギーが最小となる正弦波を抽出し、その正弦波を原信号から引き、残差波形に同様の処理を繰り返すというものである⁽⁵⁾。具体的な手順としては、

はじめに、原信号から一つの正弦波を抜くことにより式(1)の残差成分を求める。

$$e(t, f) = x_0(t) - S(f) \sin(2\pi ft) - C(f) \cos(2\pi ft) \dots (1)$$

このときの $S(f)$, $C(f)$ は(2)式と(3)式で表される。

$$S(f) = \frac{2}{L} \int_0^L x_0(t) \sin(2\pi ft) dt \dots (2)$$

$$C(f) = \frac{2}{L} \int_0^L x_0(t) \cos(2\pi ft) dt \dots (3)$$

$x_0(t)$ は区間 $(0, L)$ で与えられた原信号である。

次に(4)式で表される残差成分のエネルギーを求める。

$$E(f) = \int_0^{nT} e(t, f)^2 dt \dots (4)$$

すべての正弦波に対して同様の操作を繰り返し、残差成分のエネルギー $E(f)$ が最小となる正弦波を見つけ出し、それを第一周波数成分とする。

原信号 $x_0(t)$ の代わりに残差信号(5)式を用いることにより第二周波数成分を抽出する。

$$x_1(t) = x_0(t) - S_1(f_1) \sin(2\pi f_1 t) - C_1(f_1) \cos(2\pi f_1 t) \dots (5)$$

このようにして、十分残差が小さくなるまで N 成分抽出したとき(6)式ようになる。

$$x_0(t) \approx \sum_{k=1}^N \{S_k(f_k) \sin(2\pi f_k t) + C_k(f_k) \cos(2\pi f_k t)\} \dots (6)$$

(2.2) Support Vector Machine (SVM)

SVM は、2 値分類問題を解くために考えられたアルゴリズムである⁽⁶⁾。

それぞれのクラス間で、お互いに最も近い位置にあるデータを基準として、そのユークリッド距離が最も大きくなるように、境界を求める線形選別機である。

本研究では式(10)のスプラインカーネルを使用して計算量を削減する。

$$k(x, x_i) = 1 + \alpha x_i \min(x, x_i) - \frac{x + x_i}{2} \min(x, x_i)^2 + \frac{1}{6} \min(x, x_i)^3 \dots (10)$$

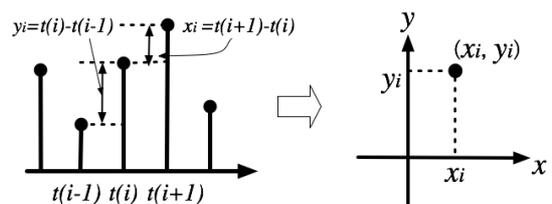


Fig. 1. 差分の直交座標化

The improvement of bill classification by using feature quantity extraction method

[†]University of the Ryukyus

[‡]Japan Cash Machine Co., Ltd.

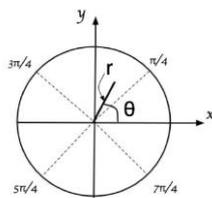


Fig. 2. 差分の極座標化

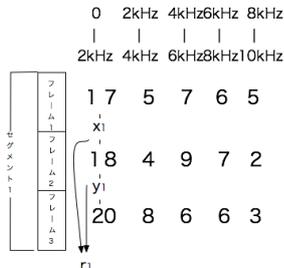


Fig. 3. 差分の極座標化

3. 特徴量の抽出と判別方法

本研究で使用している紙幣取扱装置には、マイクロフォンが設置されており、紙幣が通過する際に音を録音し、A/D変換器によりデジタル処理され、音響信号として計測される。A/D変換のサンプリング周波数は44.1kHzである。

(3・1) 周波数の取り出し

音響信号を15個のフレームに分割し、1024点のFFTやGHAにより、周波数成分を取り出す。その後、2kHz毎にどの程度周波数成分が含まれていたか計算する。10kHz以上の周波数成分はほとんど観測されなかったため除外し、各フレーム5つの特徴量を得る。

(3・2) 差分特徴量

3つのフレームをセグメントとして扱い、得られている特徴量からさらに差分特徴量を得る。

まず、連続したフレームの一つ目の特徴量の差を求める。(11)式と(12)式を用いてそれぞれ前方差分値 x_i と後方差分値 y_i を計算する。ここで i は任意のフレーム、 $t(i)$ は任意のフレームにおける特徴量の一つを表している。

$$x_i = t(i+1) - t(i) \dots\dots\dots (11)$$

$$y_i = t(i) - t(i-1) \dots\dots\dots (12)$$

得られた2つの差分値を直交座標に投影して、その分布を特徴量として用いる。具体的にはFig.1に示すように、得られたフレーム間の差を直交座標の水平軸(x軸)と垂直軸(y軸)に割り当てることによりフレーム間の差分の分布を表現できる。

次に直交座標から極座標変換を(13)式を用いて行う。これによって、Fig.2で示すように要素を半径 r と角度 θ で表すことができる。

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}, \theta_i = \arctan\left(\frac{y_i}{x_i}\right) \dots\dots\dots (13)$$

r は変化の大きさを表している。また、 θ は変化の形を表している。本研究では、新紙幣と疲弊紙幣の違いが生じやすい r に着目する。さらに13個のセグメントから r の平均を取り特徴量とする。Fig.3に3個のフレームを1セグメントとし、特徴量を得ていく過程を示す。

4. 実験

本研究では、アメリカ合衆国ドルの1ドル紙幣を実験に使用する。新紙幣をS00とし、疲弊度が上がるに連れてS01, S02, S03と値を増やし、疲弊度が最も高い紙幣をS04として扱う。学習データは各疲弊度20枚ずつ計100枚、テストデータは各疲弊度40枚ずつ計200枚について同じ向きでの投入を行い、特徴量を取り出した後に新紙幣と疲弊紙幣という2クラスの分類をSVMで行う。

(4・1) 実験1-S00のみを新紙幣としたとき

新紙幣をS00、疲弊紙幣をS01~S04として判別実験を行った。特徴抽出方法は従来法とFFT, GHAを用いたものの3種類で行い、その結果がTable.1となっている。

Table 1. S00を新紙幣としたとき

	S00	S01	S02	S03	S04	合計
差分特徴 (従来法)	27/40 (68%)	37/40 (93%)	35/40 (88%)	36/40 (90%)	39/40 (98%)	174/200 (87%)
FFT 特徴量	40/40 (100%)	38/40 (95%)	40/40 (100%)	40/40 (100%)	40/40 (100%)	198/200 (99%)
GHA 特徴量	39/40 (98%)	37/40 (93%)	39/40 (98%)	40/40 (100%)	40/40 (100%)	195/200 (97.5%)

27/40は40枚のテストデータの内判別成功した紙幣が27枚を示す。下の(68%)はその判別率を示す。

(4・2) 実験2-S00とS01を新紙幣としたとき

新紙幣をS00とS01、疲弊紙幣をS02~S04として判別実験を行った結果がTable.2となっている。

Table 2. S00とS01を新紙幣としたとき

	S00	S01	S02	S03	S04	合計
差分特徴 (従来法)	32/40 (80%)	17/40 (42.5%)	28/40 (70%)	33/40 (82.5%)	35/40 (88%)	145/200 (73%)
FFT 特徴量	40/40 (100%)	29/40 (72.5%)	39/40 (98%)	38/40 (95%)	39/40 (98%)	185/200 (93%)
GHA 特徴量	40/40 (100%)	31/40 (78%)	29/40 (73%)	35/40 (88%)	38/40 (95%)	173/200 (87%)

5. まとめ

周波数成分に着目してセグメントモデルを作成し、フレーム間の差分を取っていくことで特徴量を抽出する手法を提案し、実験によって、特にFFTを用いた場合その有効性を示すことができた。しかし、GHAを使って周波数を取り出す際、抽出する成分の数を少なくしてしまったためGHAの利点を生かすことができず結果がFFTよりも悪くなってしまったと考えられる。

文 献

- (1) 「銀行券・貨幣の発行・管理の概要」
http://www.boj.or.jp/note_tfjgs/note/outline/
- (2) 上杉文昭:「汚損券抽出装置およびそれを用いた現金取扱装置」, 日本特許,P2003-242549A,2003
- (3) 姜東植・比嘉雅樹・宮城隼夫・三井郁吾・藤田正信・少路進雄:「音響信号の振幅差分特徴を用いたサポートベクターマシンによる疲弊紙幣の識別」電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌),131(8),pp.1495-1501, 2011
- (4) 「一般調和解析」<http://www.oct-net.ne.jp/~mayu-a/gha.html>
- (5) 及川靖広・大内康裕・山崎芳男「一般化調和解析を用いた音響信号の高効率符号化」JAS journal JANUARY 2000 No.1
- (6) 小野田崇:「サポートベクターマシン」, オーム社,2007.