人文科学とコンピュータ　28－2
（1995．11．25）

ベクトル場のフーリエ変換を用いた文字の感性的評価の試み

石床　明代　　服部　哲郎　　山崎　敏範

香川大学教育学部
〒760 香川県高松市幸町1－1

印刷文字や手書き文字などの感性的評価が定量的に得られることを目標として，距離変換に基づくベクトル場と，そのフーリエ変換による特徴抽出に基づく評価手法を提案する．ベクトル場からの特徴抽出は，文字・文字線の形状や太さ及び構造的特徴を浮き彫りにするためであり，フーリエ変換を用いるのは平行移動不変な性質を抽出するためである．本手法では，この不変性抽出にフーリエ変換の振幅スペクトラムのみならず，2次微分（ラプラシアン）を作用した位相情報も加味する．明朝体やゴチック体など代表的な書体のサンプル集団から得られるデータ群に主成分分析を適用し，それらを基にして任意の入力文字の定量的感性評価を狙う．

Kansei Information Processing and Evaluation for Characters Using Fourier Transformation on Vector Field

Akiyo Ishitoko, Tetsuo Hattori and Toshinori Yamasaki

Faculty of Education, Kagawa University
1-1 Saiwai-Cho Takamatsu, 760 Japan

This paper proposes an automated quantitative evaluation method for the feeling of characters. Our method constructs a vector field from a distance transformation in order to enhance the shape and structure of input pattern, and moreover uses a Fourier transformation on the vector field in order to extract the invariance of translation. Differently from conventional methods, we deal with the Fourier transformation having Laplacian operated phase. And we regard it as a high dimensional complex vector. Applying the Principal Component Analysis method to the data of the complex vectors obtained from some kinds of font, we extract some basic complex vectors corresponding to human feeling. After that, we aim at the automated quantitative evaluation for input characters, based on the basic vectors.

1．はじめに

文字の書風や審美的印象が如何にして定量的に評価できるかという問題意識や動機から，筆者らは以前にフーリエ変換係数のヒストグラムなどを用いた手書き文書の感性的情報処理を試みた[1]．そこでは，手書き文書の濃淡コントラストによる相違などは有意に抽出できたが，文字ストロークの形状や文字線間の相対的位置関係に由来するバランス感までは汲み取れなかった．

本報告では，文字の構造や文字ストロークの形状を明確に扱うため，対象を２値文字パターンに限定し，距離変換に基づくベクトル場と，そのフーリエ変換による特徴抽出に基づく評価手法を提案する．ベクトル場からの特徴抽出は，文字・文字線の形状や太さ及び構造的特徴を浮き彫りにするためであり，フーリエ変換を用いるのは平行移動不変な性質を抽出するためである．

2．感性的評価システム

本手法にの評価システムでは，図１のような様々な字種と書体文字を用意し，それを基に感性評価するための典型的性質を分析する．具体的には，各入力文字パターンと文字集合に対して，以下の様なステップで特徴抽出や分析を行う．

- Step 1:　距離変換
- Step 2:　ベクトル場作成
- Step 3:　特徴点ベクトル場抽出
- Step 4:　フーリエ変換
- Step 5:　フーリエ変換の位相の２次微分（ラプラシアン）とその結果の複素ベクトル表現
- Step 6:　複素ベクトル表現された同一書体文字集合と異なる書体文字集合に対する主成分分析

以上までが分析・学習段階であり，これ以後任意の入力文字パターンに対しては，Step 5の複素ベクトル表現までを行った上で，主成分分析によって予め感性的評価が得られた幾つかの標準的複素ベクトルとを比較する．これらの標準的複素ベクトルとの類似度算出により，定量的感性評価を行う．

2．1　ベクトル場による特徴抽出

Step 1の距離変換により入力文字パターンの形状を画面全体に拡散し，更に，その距離変換値分布の勾配ベクトルと同じ向きを持つ単位長の２次元ベクトル場を構成する．このベクトル場から，そのベクトルの湧きだし点や吸い込み点を特徴点として，それら特徴点のみにベクトルを対応させた特徴点ベクトル場を抽出する（図２参照）．これは文字ストロークや文字の形状や構造的特徴を強調するための処理である．

2．2　フーリエ変換と位相の２次微分

[定義]（フーリエ変換）

入力パターン $f(\mathbf{x})$ のフーリエ変換は，$\mathbf{X}$，$\boldsymbol{\omega}$ を各々実２次元平面と２次元周波数領域の位置ベクトルとすると，

$$F(\omega)=\int f(\mathbf{x})\cdot \exp\{-j\langle \omega | \mathbf{x}\rangle\}d\mu(\mathbf{x})$$

と表わされる．

また，$F(\omega)=|F(\omega)|\exp j\theta(\omega)$，とも表わされ，$|F(\omega)|$ を振幅スペクトラム，$\theta(\omega)$を位相と呼ぶ．

このフーリエ変換は平行移動不変な性質を抽出するために行う．一つの文字パターンに対しては，平行移動によって感性評価は影響を受けないと考えられるので，平行移動不変性は感性評価システムに対する要請でもある．この不変性抽出には従来からフーリエ変換の振幅スペクトラムがよく用いられるが，複素関数としてのフーリエ変換には振幅スペクトラムと位相情報があり，振幅スペクトラムのみでは情報がかなり欠落する．本手法では，位相情報も加えた上で平行移動性を保持するために，位相に２次微分（ラプラシアン）を作用したフーリエ変換を対象とする[2]．

すなわち，次の複素関数

$$F^{+}(\omega)=|F(\omega)|\exp j\{\nabla^{2}\theta(\omega)\}$$

を対象とし，これを複素ベクトルとして扱う．

ただし，
$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial\omega_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial\omega_2^2}$$
．

図3に，図1の文字例における”一”に対するベクトル場のフーリエ変換の振幅スペクトラムが示されている．また，対比のため，”一”の2値パターンに対するフーリエ変換の振幅スペクトラムが図4に示されている．この比較により，ベクトル場によって特徴の相違がより浮き彫りにされていることが分かる．更に，図5にはベクトル場のフーリエ変換の位相の2次微分結果が示されており，この位相にも何らかの特徴が現われていることが分かる．図6は，図4の振幅スペクトラムを画像的に表示したものである．

尚，$F^+(\omega)$が平行移動不変性を有することは後記の付録を参照されたい．入力パターン$f(\mathbf{x})$が濃淡パターンのときみならず，ベクトル場を表わす複素関数の場合にも成立する．更に，この平行移動不変性を利用して，$F^+(\omega)$の定義域である座標を局座標表現した上で，再度フーリエ変換と位相の2次微分を行えば，入力パターンの拡大縮小・回転に不変な表現が得られる．

3．主成分分析による感性評価対応

明朝体やゴチック体など代表的な書体のサンプル集団から得られる，上記の高次元複素ベクトルのデータ群に対して，エルミート行列である自己相関行列を作成し，主成分分析，またはKL展開を適用しながら，人間の典型的感性評価に対応すると考えられる幾つかの標準複素ベクトルを抽出する．その後それらを基に，任意の入力文字に対して比較と類似度算出を行い，定量的感性評価を狙う．

参考文献

[1] 山崎，H.Bunke：”手書き文書における感性的情報処理”，信学技法，E94-16,AI94-16,pp.117-122 (1994-04).

[2]大東，服部，山崎：”ベクトル場のフーリエ変換を用いた文字・図形の認識法”，電気・情報関連学会中国支部第45回連合大会，pp121-122, 1994.10.

付録： 位相の2次微分の平行移動不変性

座標変換 $\varphi: R^2 \to R^2$ により，入力パターン $f(\mathbf{x})$ が $g(\mathbf{x}) = f(\varphi^{-1}(\mathbf{x}))$ となる場合を考える．
$f(\mathbf{x})$ と $g(\mathbf{x})$ のフーリエ変換を各々 $F(\omega)$, $G(\omega)$ とする．

$$G(\omega) = \int_{R^2} g(\mathbf{x}) e^{-j\langle\omega | \mathbf{x}\rangle} d\mu(\mathbf{x})$$
$$= \int_{R^2} f(\varphi^{-1}(\mathbf{x})) e^{-j\langle\omega | \mathbf{x}\rangle} d\mu(\mathbf{x})$$

座標変換 φ をアフィン変換とすると，
$\varphi(\mathbf{x}) = \mathbf{Ax+b}$ と表わされる．
$\varphi^{-1}(\mathbf{x}) = \mathbf{y}$ とおくと $\mathbf{x} = \varphi(\mathbf{y}) = \mathbf{Ay+b}$ となり，

$$G(\omega) = \det\mathbf{A} \int_{R^2} f(\mathbf{y}) e^{-j\langle\omega | \mathbf{Ay+b}\rangle} d\mu(\mathbf{y})$$
$$= \det\mathbf{A} \cdot F(\mathbf{A}^T \cdot \omega) \cdot e^{-j\langle\omega | \mathbf{b}\rangle}$$

となる．
ここで,座標変換 φ を一様な拡大・縮小・回転・平行移動までの変換とする． 入力パターン$f(\mathbf{x})$, $g(\mathbf{x})$ から得られるベクトル場を，各々複素関数 $f^*(\mathbf{x})$, $g^*(\mathbf{x})$ とし，そのフーリエ変換を各々 $F^*(\omega)$, $G^*(\omega)$ とすれば，次の関係が得られる．

$$G^*(\omega) = \det\mathbf{A} \cdot F^*(\mathbf{A}^T \cdot \omega)\, e^{j\alpha} \cdot e^{-j\langle\omega | \mathbf{b}\rangle}$$

但し，α は回転中心の周りの回転角度を表わし，$\det\mathbf{A}$ は$\mathbf{A}$ の行列式の値を表わす．

ここで，$F^*(\omega)$, $G^*(\omega)$ の各位相を，各々 $\theta_{F^*}(\omega)$, $\theta_{G^*}(\omega)$とすると，上式より，

$$|G^*(\omega)| = |\det\mathbf{A}| \cdot |F^*(\mathbf{A}^T \cdot \omega)|$$
$$\nabla^2\theta_{G^*}(\omega) = \nabla^2\theta_{F^*}(\mathbf{A}^T \cdot \omega)$$

の関係式が得られる．

ここで，φ が単なる平行移動の場合には，$\mathbf{A}$, $\mathbf{A}^T$は単位行列となる．

以上より，フーリエ変換の位相を2次微分（ラプラシアン）することにより，振幅スペクトラムと同様な平行移動不変性が得られる．

図１：様々な書体の文字例

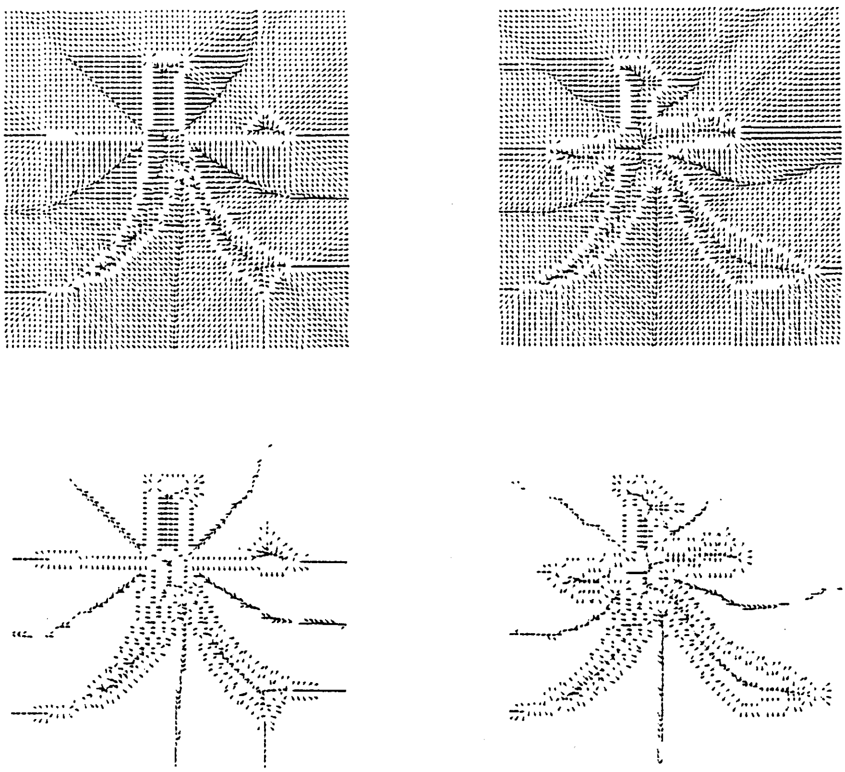

図２：距離変換に基づくベクトル場と，その湧き出し点と吸い込み点を特徴点とする特徴点ベクトル場の例（左上と左下，右上と右下が同一の文字から得られる各ベクトル場であり，図１の２種類の”大”が入力文字である）．

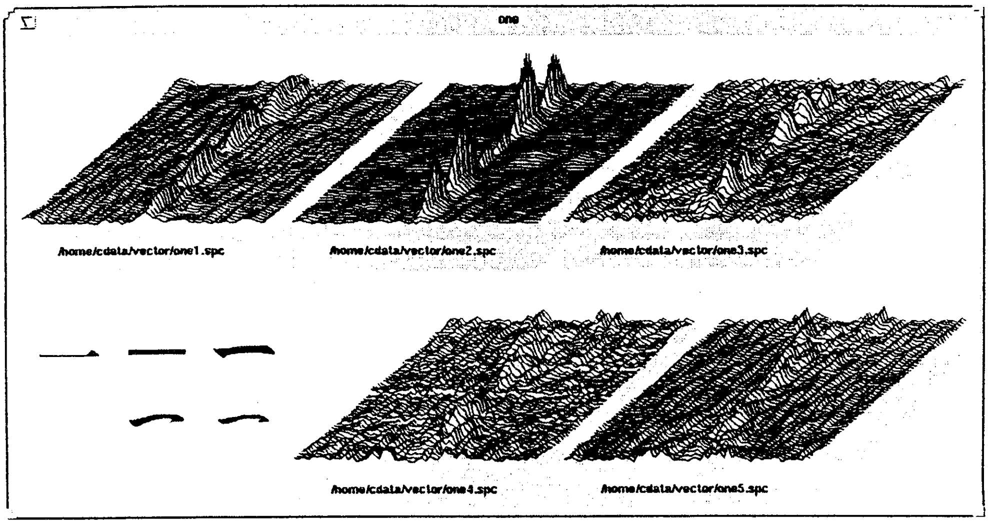

図３：特徴点ベクトル場のフーリエ変換の振幅スペクトラム（５種類の”一”が入力文字であり，その振幅スペクトラムの並びは，下方に示されている”一”の文字の並びと対応している）．

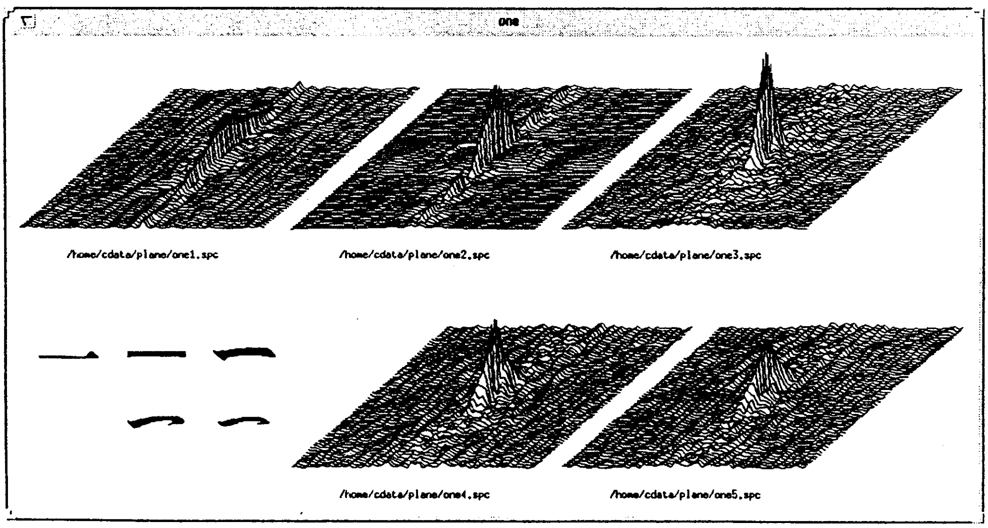

図４：２値文字パターンのフーリエ変換からの振幅スペクトラム（図３と同じ５種類の”一”が入力文字である）．

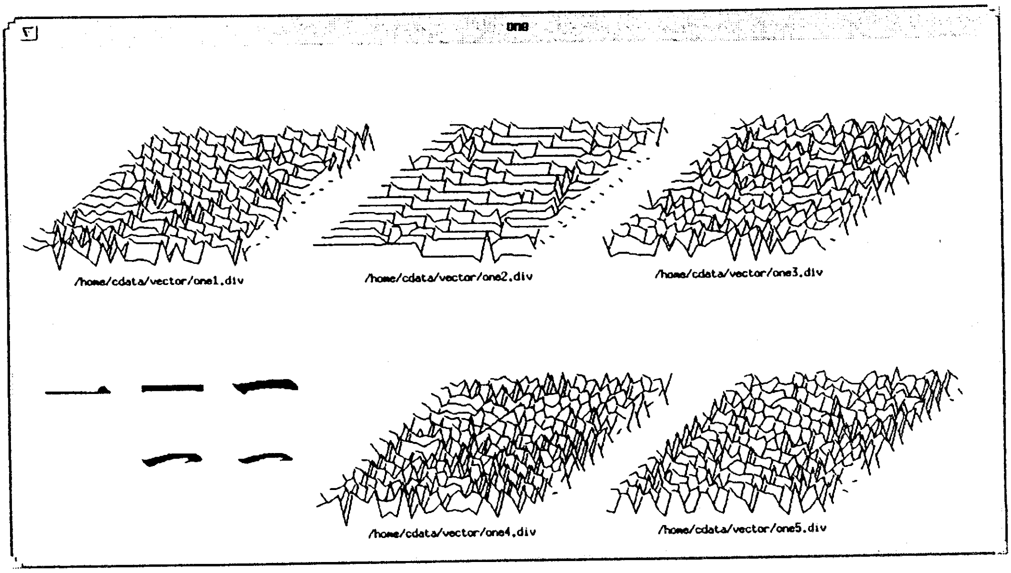

図５：特徴点ベクトル場のフーリエ変換の位相を２次微分した結果（図３と同じ入力文字である）．

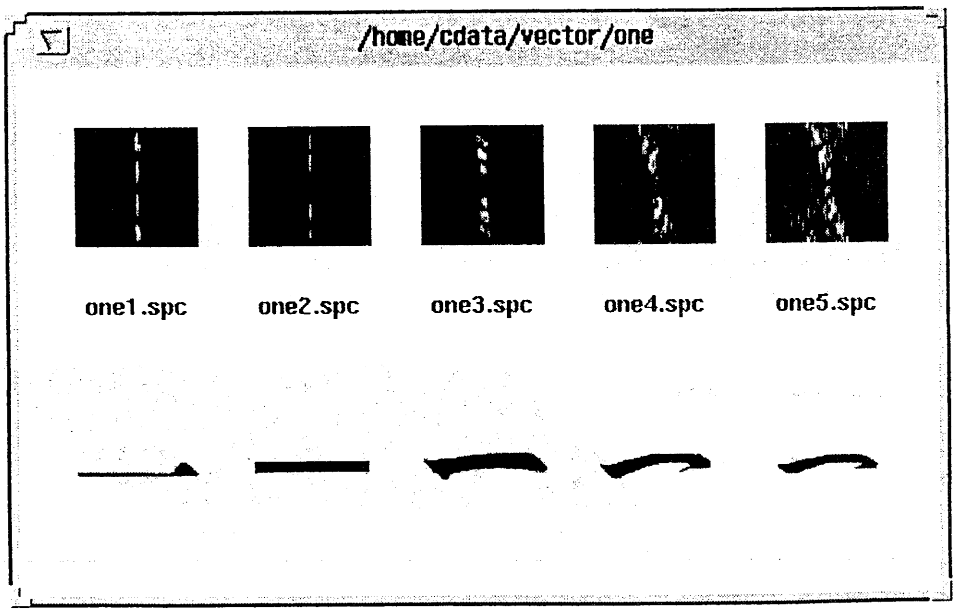

図６：特徴点ベクトル場の振幅スペクトラムの画像的表示（各書体の特徴の相違が強調されて現われていることが分かる）．