

## 環境画像からの検出が容易な文字パターンの合成に関する検討

服部 亮史<sup>†</sup> 内田 誠一<sup>††</sup> 岩村 雅一<sup>†††</sup> 大町真一郎<sup>††††</sup> 黄瀬 浩一<sup>†††</sup>

† 九州大学大学院システム情報科学府 〒 819-0395 福岡市西区元岡 744

† 九州大学大学院システム情報科学研究院 〒 819-0395 福岡市西区元岡 744

†† 大阪府立大学大学院工学研究科 〒 599-8531 大阪府堺市学園町 1-1

††† 東北大学大学院工学研究科 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: †hattori@human.is.kyushu-u.ac.jp, ††uchida@is.kyushu-u.ac.jp, †††{masa,kise}@cs.osakafu-u.ac.jp,  
††††machi@aso.ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 環境画像からの文字領域検出(切り出し処理)に関して, 検出が容易となる文字パターンの合成について検討する. 文字領域検出には, 例えば文字パターンが一般的に持つ複雑性などの普遍的な特徴が用いられていた. しかし用いた特徴では検出できない例外的なパターンが存在したり, 検出対象が存在する環境によっては検出が極めて困難になるなど問題も多い. 本研究では, 検出処理に用いる特徴を備えた文字パターンを合成するという視点からこの問題を捉える. 具体的には, 文字パターンの形状とある検出器による特徴抽出結果の関係を明らかにし, その検出器における処理に最適な文字パターン形状を定量的な評価により求めるというアプローチを用いる. この一例として, 部分空間法を用いた文字領域検出に適した文字パターンを合成し, 検出容易な文字パターンの性質を確認した.

キーワード 文字認識, 文字切り出し, 文字合成, 主成分分析

## Conspicuous Character Synthesis

Ryoji HATTORI<sup>†</sup>, Seiichi UCHIDA<sup>††</sup>, Masakazu IWAMURA<sup>†††</sup>, Shinichiro OMACHI<sup>††††</sup>, and  
Koichi KISE<sup>†††</sup>

† Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University,

† Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University, Motooka 744, Nishi-ku,  
Fukuoka-shi, 819-0395 Japan

†† Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University, Sakai-shi, Osaka, 599-8581 Japan

††† Graduate School of Engineering, Tohoku University, 6-6-05 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai-shi,  
980-8579 JapanE-mail: †hattori@human.is.kyushu-u.ac.jp, ††uchida@is.kyushu-u.ac.jp, †††{masa,kise}@cs.osakafu-u.ac.jp,  
††††machi@aso.ecei.tohoku.ac.jp

**Abstract** Characters in scene image are often hard to detect, i.e., not conspicuous. Thus, one of the main tasks for camera-based character recognition is the detection of characters in scene image. There are many past attempts for this difficult task. This paper investigates the essence of this task, that is, “what is conspicuous character images?” In order to have an example of the conspicuous character image, we use the relation between the subspace of non-character images and that of character images. Specifically, we try to find a point in the character subspace furthest from the non-character subspace.

**Key words** Character recognition, Character detection, Character synthesis, Principal component analysis

## 1. はじめに

デジタルカメラなどで取得された実環境画像について, その画像中の文字を認識する技術が検討されている [1]. デジタルカ

メラを文字認識器への情報入力手段として用いることは, その携帯性や操作性, 自由度の面から有用であると考えられる. 一方, 実環境画像中の文字は低解像度であり, 照明条件が悪く, 幾何変形を受けている場合があるため, 高精度な認識を実現す

るには、今後様々なブレイクスルーが必要とされる。

ところで、認識処理に先立ち、文字領域の検出・切り出し処理が必要となる(図1)。ある意味、認識処理よりも難しいこの検出処理には、例えば文字パターンが一般的に持つ複雑性などの普遍的特徴が用いられてきた[2]~[5]。しかしどのような特徴を用いても必ず例外的なパターンは存在しうる。また環境内には“Y”や“T”状のエッジが多数存在し、これらと真の文字パターンとの識別も相当困難な問題である。

本研究では、検出容易な文字パターンを生成することで、この困難な文字検出問題の抜本的解決を目指す。これは、環境中にある通常の文字を努力して検出するという従来のアプローチとは、逆転の発想に基づく。QRコードは機械可読だけでなく検出容易なパターンとしてもデザインされているが、まさにそうした性質を持った文字パターンを生成する試みとも言える。人間が試行錯誤的に生成する手段も考えられるが、本研究ではまずシステムティックに自動生成することを目指す。

検出容易な文字パターンとは、最も単純には、何らかの特徴空間の中で、文字集合の中であって、かつ非文字集合から最も遠いパターンとして定義される。この定義には不確定要素が多い。すなわち、(i) 文字集合とは何か、(ii) 非文字集合とは何か、(iii) 文字と非文字の距離をどのように定義するのか、(iv) そしてどのような特徴空間で考えるのか、について具体的に設定しなければ、検出可能な文字パターンを生成することはできない。当然、4要素の設定の違いによって、生成される文字パターンも変わってくることになる。例えば(iii)や(iv)については、実際に用いる文字検出法に依存する要素でもある。また(i)については、文字パターン形状(色、表面のテクスチャなども含む)の扱い方にも依存するであろう。(ii)についても、何をもちて非文字とするかは、相当に難しい問題である。

このように様々に考えられる問題設定のうち、本稿ではその一例について検討することとする。具体的には、(iv)特徴空間として最も単純な $N^2$ 次元濃淡特徴空間( $N$ は画像1辺の長さ)、(i)文字集合として同一文字種のフォント画像から生成される $I$ 次元部分空間、(ii)非文字画像集合としては低次DCT基底の張る $J$ 次元部分空間、残る(iii)としては画像間の為す角( $\cos^2\theta$ )を考える。なお、次章では、このように特殊化する以前の一般的な考え方について議論する。

計算機にとって取り扱いやすいようにあらかじめパターン側を操作しておくという考え方は、既に文献[10]~[12]においても議論されている。同文献では、検出のためではなく認識が容易となるようにデザインされたパターンが紹介されている。具体的には、認識を高精度化するために、認識器側を改良するのではなく、認識対象である文字パターン自体に改良を施すという考え方である。情報提示側が積極的に認識してもらいたい場合、この方法は特に有効である。これに対し、本稿では、検出・切り出しが容易となるようにパターンをデザインする。

## 2. 本手法の概要

本手法では、実環境映像からの検出が容易な文字パターンをシステムティックに自動生成する。よって、パターンの形状と

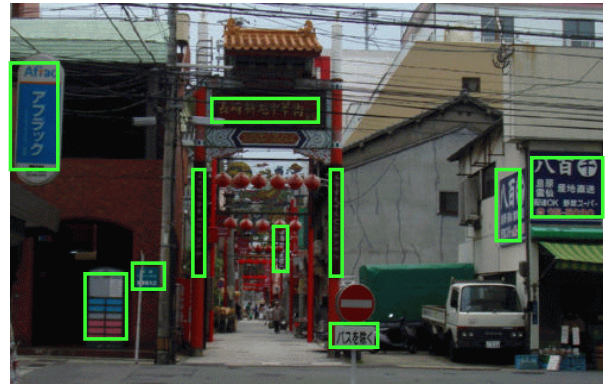


図1 文字領域の検出

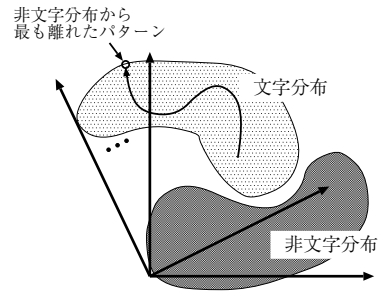


図2 検出容易な文字の合成のための基本的考え方

検出容易性の関係を、一種の最適化問題として定式化する。本章では、まずその定式化の一般的な考え方について述べる。次章3.では、その具体化の一例として、部分空間を用いた検出容易な文字合成問題の定式化と、その解法について述べる。

本手法の基本的な考え方を図2に示す。このように本手法では、特徴空間において非文字分布から離れた位置に存在するパターンを、検出容易な文字パターンと考える。なおこの特徴空間とは文字・非文字の分離のための特徴が為す空間であり、例えば画像の局所的複雑性のようなものを考えればよい。文字パターンの形状を何らかのパラメータで制御すれば、生成される文字パターンは、この特徴空間において移動することになる。従って、生成される文字パターンが非文字分布から最も離れるように、形状パラメータを最適化することになる。

図3は、以上の基本的考え方をより具体化したものである。同図には、文字形状パラメータ空間、画像空間、検出特徴空間の3つが示されている。以下では、それぞれについて詳述する。

第一の文字形状パラメータ空間とは、様々な形状を持った文字パターンを生成するための制御パラメータ $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_T)$ が張る空間である。この空間上の一点はある文字形状に対応する。従って、この空間が「文字とは何か」を規定することになる。パラメータとしては、様々なものが考えられる。例えば、ストロークの太さやアスペクト比などの基本的なものや、フーリエ記述子、Active Shape Model [6]などが考えられる。座標系列や線分系列モデル [7]、インクジェット生成モデル [8]、HMMなどのストロークモデルも、それぞれの最尤パターンを生成パターンと見るなどすれば、パラメータ空間を構成することができる。

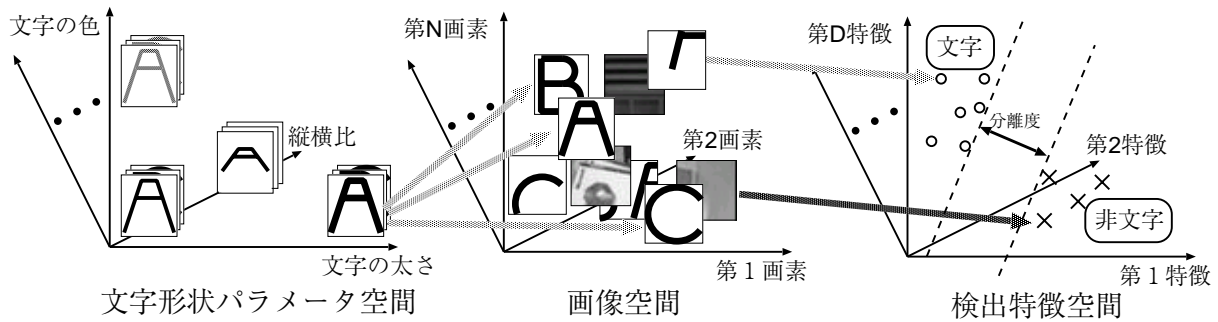


図3 文字合成のための3つの空間

人間可読なパターンの生成が前提であるから、実際にはこのパラメータ空間の全体を考えるのではなく、ある程度制約された範囲に限定する必要がある。例えば、ストロークの太さもある程度以下にするべきである。フーリエ記述子についても、例えば標準的な文字パターンから得られたパラメータから大きく変えたり、高次係数を無視したりすれば、文字として全く読めないパターンが生成されてしまう恐れがある [9]。

第二の画像空間とは形状パラメータを生成することで得られた画像の集合である。具体的には、パターン形状パラメータ空間上で定められた1点を、様々なノイズを加えながら画像化したものの集合である。このように様々な変化を加えた文字画像を生成するのは、実環境で起こり得る変化(部分切り出し、ノイズの付加、幾何変形、複雑背景など)を模するためである。このように変化が起こった場合であっても、正しく検出できるような文字を合成することが目標となる<sup>(注1)</sup>。このため、これら画像集合は、検出容易な文字を合成するための学習パターンであると言える。

この画像空間には、非文字画像も含まれる。これらも検出容易な文字の合成の際の学習パターンとして利用される。前述のように「非文字とは何か」をどう規定するかによって、様々なバリエーションが考えられる。最も単純には文字集合の補集合を考えればよいが、事実上それは困難と思われる。このため、実際には数多くの非文字画像試料を収集し、それらから経験主義的に非文字画像集合を定めることになる。この考えをさらに進めることも可能である。すなわち、何らかの文字検出器を想定し、それにより誤検出されてしまった非文字画像だけを収集して用いることもできる。文字検出の実際に問題になるのはそうした「きわどい」非文字画像であり、それらの利用は本手法において効果的と思われる。

最後の検出特徴空間とは、文字検出のために画像から抽出した特徴が張る空間である。繰り返しになるが、例えば画像の局所的複雑度などを特徴として利用する。この空間内で文字画像の分布と非文字画像の分布の分離度  $H$  を考える。この分離度が大きければ大きいほど文字画像と非文字画像を識別しやすく(環境画像から検出しやすく)なると考えられる。パターン形状パラメータ空間の1点を定めることで、その文字パターンの検

出しやすさ、すなわち分離度  $H$  が求まる。形状パラメータから画像を生成する段階において変化を加えているが、これを一定の法則に則って行うのであれば、やはり  $H$  はパターン形状パラメータ空間の1点に対して一意に求まる。

以上を総合すると、検出しやすい文字を合成するという問題は、パターン形状パラメータ空間上の点  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_T)$  を制御変数とし、分離度  $H$  を最大化すべき目的関数とする制約付き最適化問題として定式化される。ここで制約とは、例えば  $\alpha$  の範囲制限であり、合成されるパターンの形状の人間可読性を保つためのものである。

### 3. 部分空間法を用いた検出容易な文字合成

本章では、前章で述べた文字合成法の最も単純な実現形態の一つとして、いわゆる部分空間法を利用した方法について述べる。

#### 3.1 部分空間法と文字合成

部分空間法とは、パターンの分布を次元の小さい部分空間で近似し、その部分空間のみに着目して認識を行う手法である [13]。各クラスについて学習パターンを収集し、それらについて主成分分析を行い、得られた上位主成分を正規直交基底とした部分空間により、各クラスのパターンの分布を近似表現できる。

本稿では、この部分空間法を文字形状パラメータ空間、画像空間、検出特徴空間のすべてにおいて一貫して利用することで、文字合成問題を単純化する。この様子を図4に示す。以下はその概要である。具体的な問題の定式化は、次節で与える。

(1) まず文字形状パラメータ空間を、部分空間を張る基底ベクトルの係数  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_I$  を座標軸とした空間とする。この部分空間は、上述のように学習パターンにより生成したものである。

(2) 人間可読性を保つためにパラメータベクトル  $\alpha$  のノルムを1となるように制約する。後述のように、これは生成される文字画像  $\mathbf{p}$  のノルムが1であることと等価である。このノルム正規化の様子を図5に示す。

(3) 次に文字形状パラメータ空間内の各点  $\alpha$  により合成される画像  $\mathbf{p}$  により、画像空間を構成する。本来ならばこの画像化の際に、様々な変化を加えるべきであるが、本稿では単純のために、部分空間内の画像のみを用いる。従って、本稿で想定する文字画像は、画像空間において  $I$  次元部分空間を為すこ

(注1): 後述するように、本稿の問題設定ではこうした変化は加えておらず、パラメータ制御により生成された画像のみを用いている。



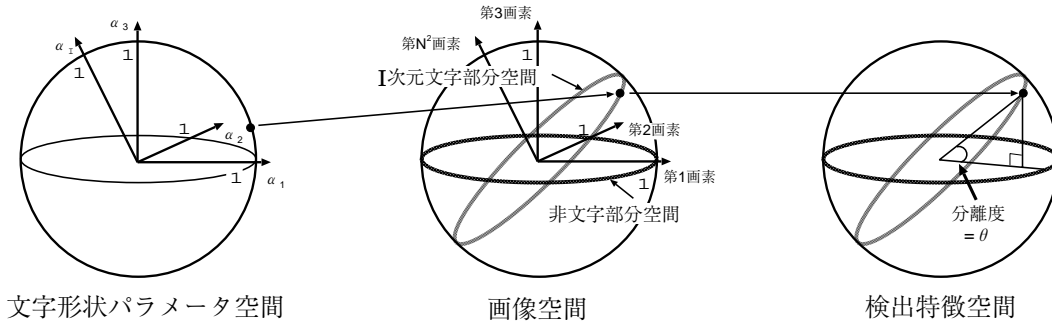


図 4 部分空間法を用いた検出容易な文字合成

となる．さらに  $\|\mathbf{p}\|^2 = 1$  より，実際に画像が存在するのは，この部分空間と半径 1 の超球が交差する領域となる．

(4) 非文字についてもこの画像空間内において  $J$  次元部分空間を構成する．この点については後述する．

(5) これら文字・非文字二つの部分空間を検出特徴空間に写像する．本稿ではこれを恒等写像とする．すなわち，画像のまま文字・非文字を分離検出することとする．これも問題の単純化の一貫である．文字・非文字の両部分空間間の分離度  $H$  はそれらの為す角 (正準角)  $\theta$  で定義される．

(6) 分離度  $H$  すなわち  $\theta$  を最大化する点を，文字部分空間内に求める．

### 3.2 非文字部分空間

2.でも述べたように，非文字部分空間の構成については，様々な方針が考えられる．ここでは一般的な画像を表現するための最適基底が DCT 基底であることを利用する．この性質は，画像の画素値がマルコフ性を満たすという仮定の下では，DCT 基底が KL 変換の基底として導出されることから証明される [14]．このように低次の DCT 基底が張る空間を近似的に非文字部分空間と考えることで，極めて容易に非文字部分空間を構成できる．

$N \times N$  画像用の 2 次元 DCT 基底は，以下の式で表される．

$$\psi_{k,l,p,q} = \frac{2h_k h_l}{N} \cos \left\{ \frac{k(p - \frac{1}{2})}{N} \pi \right\} \cos \left\{ \frac{l(q - \frac{1}{2})}{N} \pi \right\} \quad (1)$$

ただし

$$h_k = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & (k = 0) \\ 1 & (k \neq 0) \end{cases} \quad (2)$$

上式は， $\psi_{k,l}$  の各要素を  $N \times N$  の格子状に並べたときの  $(p, q)$  成分の値を示している．低次の DCT 基底だけを用いるということは  $k, l$  をそれぞれ  $J$  以下 ( $J < N$ ) にするという意味である．

### 3.3 定式化と解法

前章で述べた考え方に基づくと，部分空間法を用いた検出器に最適なパターンは，文字部分空間上に存在して，非文字部分空間から最も離れた点として求めることができる．すなわち，図 4 の検出特徴空間において，正準角  $\theta$  を最大化にする文字部分空間上のパターン  $\mathbf{p}$  を求めればよい．ここで  $\mathbf{p}$  は，文字部分空間の正規直交基底を  $\phi_i (i = 1, 2, \dots, I)$  とおくと，

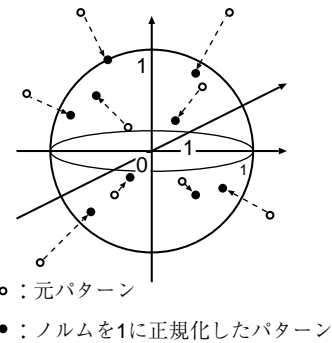


図 5 パターンのノルム正規化

$$\mathbf{p} = \sum_{i=1}^I \alpha_i \phi_i \quad (3)$$

と表せる．ここで，正規ノルム条件  $\|\mathbf{p}\|^2 = 1$  は

$$\sum_{i=1}^I \alpha_i^2 = 1 \quad (4)$$

と等価になることに注意すれば，最も検出容易なパターンを求める問題は， $\theta (\in [0, \frac{\pi}{2}])$  の範囲で最大化するパラメータ  $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, I)$  の系列を，式 (4) で表される制約条件のもとで求める問題に帰着する．

ここで  $\theta$  と  $\alpha_i$  の関係は以下のように表現される．非文字部分空間の次元数を  $J$ ，正規直交基底を  $\psi_j (j = 1, 2, \dots, J)$  とおくと， $\mathbf{p}$  と非文字部分空間の正準角  $\theta$  は，

$$\cos^2 \theta = \sum_{j=1}^J \frac{\langle \mathbf{p}, \psi_j \rangle^2}{\|\mathbf{p}\|^2 \|\psi_j\|^2} \quad (5)$$

と定義される．すなわち  $\theta$  を最大にするには式 (5) を最小化すればよい．式 (5) は，

$$\cos^2 \theta = \sum_{j=1}^J \langle \mathbf{p}, \psi_j \rangle^2 \quad (6)$$

$$= \sum_{j=1}^J \left\langle \sum_{i=1}^I \alpha_i \phi_i, \psi_j \right\rangle^2 \quad (7)$$

$$= \sum_{j=1}^J \left( \sum_{i=1}^I \langle \phi_i, \psi_j \rangle \alpha_i \right)^2 \quad (8)$$

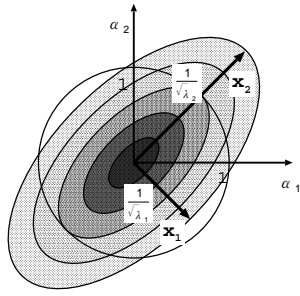


図 6 パラメータ空間 ( $I = 2$ ) における目的関数の等高線表示

$$= \sum_{p=1}^I \sum_{q=1}^I \left( \sum_{j=1}^J \langle \phi_p, \psi_j \rangle \langle \phi_q, \psi_j \rangle \right) \alpha_p \alpha_q \quad (9)$$

$$= \sum_{p=1}^I \sum_{q=1}^I C_{p,q} \alpha_p \alpha_q \quad (10)$$

と変形できる。ここで、

$$C_{p,q} = \sum_{j=1}^J \langle \phi_p, \psi_j \rangle \langle \phi_q, \psi_j \rangle \quad (11)$$

とした。

制約条件 (4) のもとで式 (10) を最小化する  $\alpha_i$  は、図 6 のように考えることで容易に求められる。同図の真円は、制約条件  $\sum_{i=1}^I \alpha_i^2 = 1$  を表す半径 1 の超球である。この超球表面上で式 (10) の出力が最小となる点を求めればよい。ここで式 (10) は  $\alpha$  の二次式であるため、パラメータ空間における式 (10) の出力の等高線は、原点を極小値として超楕円体状になる。

結局、図 6 より、最適解すなわち超球において (10) が最も小さくなる点は、この超楕円体の最長方向になることがわかる。この最長軸は  $(p, q)$  成分が  $C_{pq}$  となる  $I \times I$  対称行列  $A$  の固有値分解により求めることができる。行列  $A$  の第  $i$  固有値を  $\lambda_i$ 、第  $i$  固有ベクトルを  $\mathbf{x}_i$  とおくと、結果として求めるべき  $\boldsymbol{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)^T$  は  $A$  の第  $I$  固有ベクトル  $\mathbf{x}_I = (x_{I,1}, x_{I,2}, \dots, x_{I,N})^T$  に一致する。よって検出容易な文字パターン  $\mathbf{p}$  は、

$$\mathbf{p} = \sum_{i=1}^I x_{I,i} \phi_i \quad (12)$$

と求まる。

## 4. 実験

前章で述べた手法に基づき文字パターン合成を行った。合成した文字パターンに最も近い既存のフォントを求め、検出容易な文字の性質を確認した。

### 4.1 実験条件

アルファベットの大きい文字“A”の文字パターン合成を行った。本手法では基底画像の重ね合わせにより文字画像を作成するため、基底画像が文字としての形状を維持していなくてはならない。よって形に変動の少ない同一カテゴリ内の学習パターンのみを用いて合成を行った。



図 7 使用したフォントの例

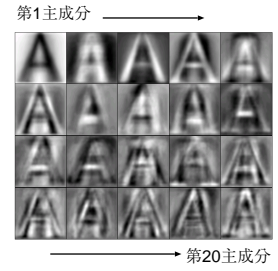


図 8 文字部分空間

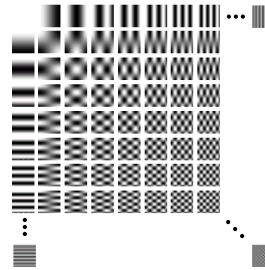


図 9 2次元 DCT 基底

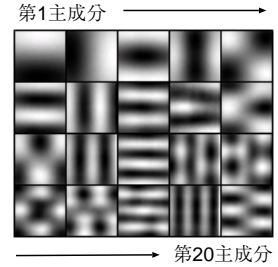


図 10 文字を含まない画像から実際に求めた主成分画像

文字画像の部分空間を張るための学習パターンとして、610 種の形状の異なるフォントの“A”の文字画像を用いた。32×32 画像の中心に文字が配置されるようにサイズと位置の正規化を施し (図 7)、主成分分析を行った。上位基底の基底画像を (図 8) に示す。

非文字画像の部分空間は 2 次元 DCT 基底 (図 9) の低周波成分を用いて構成した。図 10 は一般物体認識用の画像データベースより非文字部分を抽出し、それを主成分分析することで実際に求めた非文字画像基底であるが、DCT 基底によく似た値になっていることが分かる。この基底を実験に用いても構わないが、非文字画像抽出の偏りを排除するため、どちらを用いてもあまり変化のないことから、やはり DCT 基底を用いた。

### 4.2 実験結果・考察

各  $I, J$  の値により合成された文字パターンを図 11 に示す。  $I$  が増加すると画像の高周波成分が増加するが、“A”の文字形状からはかけ離れていっていることが分かる。今回用いた手法では、合成されるパターンに文字形状を維持させるような制約をなにも加えておらず、非文字分布からも文字分布からも離れている下位の基底を用いるとそれらの影響が強くなっていくためである。また  $J$  が小さい方が比較的“A”の形状に近い合成結果が得られていることが分かる。これは非文字部分空間の次元数が増加すると、文字部分空間の上位基底部分が非文字部分空間に含まれてしまうためと考えられる。

図 12 は、図 11 の各パターンに最も近い (すなわち角度差の最も小さい) 学習パターンである。基底数  $I$  の増加につれて、細かい文字、すなわち高周波成分を多く含むパターンが求まっている。非文字部分空間が低周波 DCT 基底で構成されているため、このようなパターンが求まることは合理的な結果といえる。

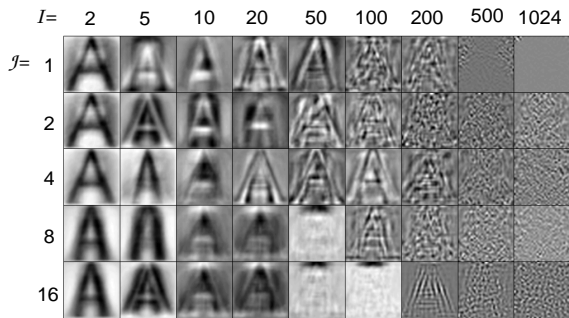


図 11 検出容易な文字パターンの合成結果

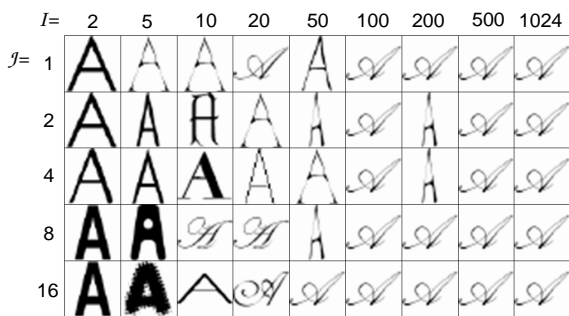


図 12 図 11 の各パターンに最も近い学習パターン

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、環境画像からの文字領域検出処理の高精度化を目的として、検出容易な文字パターンの合成手法を提案した。具体的には、文字パターン形状と検出容易性の関係を定式化し、検出容易性を最大にするようにパターン形状を最適化するというアプローチをとる。本稿ではその一例として、部分空間法を用いた検出容易な文字合成について検討を行った。合成されたパターンは高周波成分を多く含んでおり、非文字部分空間を低次 DCT 基底とした検出処理に最適な文字パターンとして合理的な結果が得られた。

今後の課題、展開としては主に以下が挙げられる。

- 求めたパターンが実際に有用なのか、実環境における実験も行い検出容易性を確かめる必要がある。しかし本稿で述べた合成処理においては実環境中の変動を考慮にいれてはいないため、実環境における実験ではよい結果が得られない可能性もある。今後は実環境中での実用性を考慮にいれた研究を行っていく必要がある。

- 本稿では、文字パターン形状を求める目的関数の定義においてに検出容易性しか考慮しておらず、第 2 章で述べたような人間可読性を保つための制約条件を用いなかった。よって文字とも非文字ともみなせない画像が合成されることがあった。制約条件の付加や、また文字の形状を維持する形状パラメータ(文字の骨格を固定しストロークのデザインのみを変更するなど)の導入など、人間可読性を考慮にいれたパターンの合成処理を検討する必要がある。

- 本手法のパターン合成処理は、ある特徴を用いる検出処理に最適なパターン形状を求めるという処理である。処理の中

でパターン形状と特徴の関係を定式化しているが、このように特徴とパターン形状の関係を明らかにすることは、ある形状のパターンを検出する処理において最適な特徴を求めるとい、本手法と逆の問題にも応用できる可能性がある。この問題にも応用できれば、対象の文字パターンごとに最適な検出器を選択するなど、より幅広い用途において本手法のアイデアを適用できると考えられる。

## 謝 辞

## 文 献

- [1] 黄瀬浩一, 大町真一郎, 内田誠一, 岩村雅一, “カメラを用いた文字認識・文書画像解析の現状と課題,” 信学技報, PRMU2004-246, 2005.
- [2] J. Keechul, K. I. Kwang, and A. K. Jain, “Text information extraction in images and video: a survey, Pattern Recognition, vol. 37, no. 5, pp. 977-997, 2004.
- [3] R. W. Lienhart and F. Stuber, “Automatic text recognition in digital videos,” Proceedings of SPIE, vol. 2666 Image and Video Processing IV, pp. 180-188, 1996.
- [4] X. Chen and A. L. Yuille, “Detecting and reading text in natural scenes,” CVPR 2004, vol. 2, pp. 366-373, 2004.
- [5] V. Wum, R. Manmatha, and E. M. Riseman, “An automatic system to detect and recognize text in images,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 21, no. 11, pp. 1224-1229, 1999.
- [6] D. Shi, S. R. Gunn, and R. I. Damper, “Handwritten Chinese radical recognition using nonlinear active shape models,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 25, no. 2, pp. 277-280, Feb. 2003.
- [7] 迫江博昭, “Rubber String Matching 法による手書き文字認識,” 信学技報, PRL74-20, Sep. 1974.
- [8] M. Revow, C. K. I. Williams, and G. E. Hinton, “Using generative models for handwritten digit recognition,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 18, no. 6, pp. 592-606, 1996.
- [9] 森俊二, 坂倉梅子, 画像認識の基礎 (II), オーム社, 1990.
- [10] 内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, “カメラによる文字認識のためのカテゴリ情報の埋込に関する検討,” 電子情報通信学会論文誌 (D), vol. J89-D, no. 2, pp. 344-352, 2006.
- [11] 岩村雅一, 内田誠一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, “付加情報を用いるパターン認識,” 電子情報通信学会論文誌 (D), vol. J90-D, no. 2, pp. 460-470, 2007.
- [12] 大町真一郎, 岩村雅一, 内田誠一, 黄瀬浩一, “実環境文字認識のための面積比による付加情報埋込,” 電子情報通信学会論文誌 (D), vol. J90-D, no. 12, pp. 3246-3256, 2007.
- [13] 石井健一郎, 上田修功, 前田英作, 村瀬洋, わかりやすいパターン認識, オーム社, 1998.
- [14] A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall, 1989.