

フラクタル符号を用いた画像パターン検索の一手法

上田 哲史<sup>†a)</sup>(正員) 武内 朗<sup>†\*</sup>(正員)

寺田 賢治<sup>†</sup>(正員)

Image Pattern Retrieval Method Using Fractal Coding

Tetsushi UETA<sup>†a)</sup>, Akira TAKEUCHI<sup>†\*</sup>, and

Kenji TERADA<sup>†</sup>, *Regular Members*

<sup>†</sup> 徳島大学工学部, 徳島市

Faculty of Engineering, Tokushima University, 2-1 Minami-Josanjima, Tokushima-shi, 770-8506 Japan

\* 現在, 日本電気通信システム関西

a) E-mail: tetsushi@is.tokushima-u.ac.jp

あらまし 画像のフラクタル符号化の過程で定まるアフィン写像について, その逆写像の族を反復計算する力学系を考えると, その状態空間中のアトラクタの引力圏(収束領域)を求めることにより, 画像の領域分割が可能である. 本論文は, この手法を応用し, 指定した検索パターンを画像内から抽出する方法を提案する. また, 精度の高い結果を得るための補正方法, 検索結果画像の抽出について述べる. すべての処理は圧縮データを直接使い, 原画像の情報は用いない. 応用例として, 人型の検索パターンを指定し, 画像内から人間領域を抽出した.

キーワード フラクタル符号, IFS, 画像領域分割, 画像パターン検索

## 1. まえがき

画像の情報量は, テキストや音声データに比較して非常に大きいため, 通信路の帯域や蓄積媒体の容量の制限から, 画像データは圧縮して通信, 蓄積されることが常識となっている. 近年, 画像符号化としてフラクタル符号化技術は, その高圧縮率達成の可能性から注目され, 広く研究されている. Barnsley による 2 値画像圧縮 [1] は, 濃淡画像へと拡張され [2], [3], その後, カラー画像への拡張 [4], [5] が行われた.

フラクタル符号化の圧縮データは, アフィン変換のパラメータの集合で構成されており, この圧縮データを直接処理することで, 原画像を復号することなく, 原画像に関するいくつかの画像処理を高速に行うことが可能である. その一例として, フラクタル符号化の圧縮データを用いた画像の領域分割手法が井田ら [6] によって提案されている. この手法は, 圧縮データからアフィン写像の逆写像に相当する集合を求めたとき, その集合の反復力学系における点集合の初期値集合を求める手続きが, 領域分割に相当することを利用して

いる.

本論文では, この領域分割手法を応用し, 任意形状の画像パターンを与え, それをテンプレートとし, 画像内から検索, 抽出する手法を提案する. また, より品質の高い結果を得るための補正方法, 検索結果画像の抽出について述べる. 応用例として, 画像内から人間領域を検索, 抽出する実験を行った.

## 2. フラクタル符号化の概略

ここでは, 白黒濃淡画像に関するフラクタル符号化の概略を述べる. まず, 原画像を重なりのないレンジブロック  $R_i$  に分割する. 次に  $R_i$  よりも大きい領域を原画像から切り出し, それを縮小すると同時に回転, 反転, 反射などの線形変換を施す. また, 各ピクセルには線形な縮小輝度変換を適用する [7]. 原画像中から  $R_i$  の平均輝度との 2 乗誤差が最も小さい平均輝度をもつドメインブロック  $D_i$  を決定する. このとき,  $D_i$  によって  $R_i$  を表現する縮小アフィン変換  $f_i$  の各パラメータが決まる. 今,  $(x_i, y_i)$  を,  $R_i$  を構成するピクセルの座標,  $z$  はそのピクセルの濃度値をとって,  $v = (x_i, y_i, z_i)^T$  とするとき,  $f_i$  は次式となる.

$$f_i: \mathbf{R}^3 \rightarrow \mathbf{R}^3, \quad v_i \mapsto A_i v_i + t_i \quad (1)$$

ここで,

$$A_i = \begin{pmatrix} r_i \cos \theta_i & -r_i \sin \theta_i & 0 \\ r_i \sin \theta_i & r_i \cos \theta_i & 0 \\ 0 & 0 & p_i \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$t_i = (s_i, t_i, q_i)^T \quad (3)$$

である. ここで,  $r_i$  はスケールリング,  $\theta_i$  は回転,  $s_i$ ,  $t_i$  は平衡移動,  $p_i$ ,  $q_i$  は輝度変換にそれぞれ対応する定値パラメータである. 今, 求められた  $f_i$  の集合が, 画像  $I$  からそれ自身への写像の族  $F$  として定義されるとき,  $F$  の再帰的な写像で定められる力学系を IFS (Iterated Function System) という. 原画像に対し,  $f_i$  の各パラメータが精度良く決定されると, 任意の画像から IFS により原画像に近い画像に復号できることがコラージュ定理によって保証されている [1]. これで原画像は,  $R_i$  の総数のみに依存する数のパラメータの集合によって符号化された. これまでに, より精度の高い縮小アフィン写像  $f_i$  を得るための探索方法などが提案されており [7], [8], 標準符号化方式 JPEG に匹敵する圧縮率と SN 比も得られつつある [9].

## 3. フラクタル符号を利用した画像の分割

次に, フラクタル符号を用いた画像分割手法につい

て述べる．フラクタル符号化で圧縮されたデータは，原画像の幾何学的性質を保存していると考えられ，それらを直接数値的に処理することにより，原画像を復号することなく，いくつかの画像処理が行える．井田らにより提案された画像の分割方法もそれら画像処理の一つである [6]．

ピクセル  $v_i$  のうち  $(x_i, y_i)$  成分を抽出する射影を  $h$  とする．

$$h: \mathbf{R}^3 \rightarrow \mathbf{R}^2, \quad v_i \mapsto u_i = h(v_i) \quad (4)$$

このアフィン変換  $f_i$  に対し，写像  $f'_i$  が決まる．

$$f'_i: \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}^2, \quad u_i \mapsto h \circ A_i \circ h^\top u_i + h(t_i) \quad (5)$$

ここで， $h \circ A_i \circ h^\top$  は逆行列をもち，それを  $\Lambda$  とすると，次の写像が定義される．

$$g_i: \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}^2 \quad u_i \mapsto \Lambda u_i - h(t_i) \quad (6)$$

$g_i$  の集合を，画像  $I$  からそれ自身への写像の族  $G$  として定義する．任意の初期値から出発した  $G$  の軌道は，原画像中の各対象部分画像（エッジで囲まれる閉領域）の形状に対応した，いくつかのトラッピング領域と呼ばれる不変集合にとらわれる．トラッピング領域内には，IFS のいくつかのアトラクタ（固定点や周期点，非周期点）の群（クラスタ）が存在し，原画像のすべてのピクセルを初期値とする軌道は，これらアトラクタに収束する．

具体的には， $m$  を整数とし，初期画像に  $G$  を施してアトラクタ群を得る．これらの群をクラスタリングの手法でクラスタに分け，各クラスタにとらわれる初期値集合（basin; ベイソン）を  $G^{-m}$  より計算し，色分けすることにより，画像の分割が達成される [6]．この分割方法の改良方法も提案されている [7], [8]．

#### 4. 画像パターンの検索・検出

従来の汎用な画像パターン検索は，テンプレートマッチング法が一般的である．しかし，指定した形状を有する対象部分画像を画像から検索する問題に限定した場合でも，テンプレートマッチングでは，検索画像（以下，テンプレートと呼ぶ）の形状誤差や，エッジ内外の輝度値の差による影響が大きく，計算コストも高い．そこで，本論文ではフラクタル符号の画像分割の応用として，テンプレートに合致するとみなされる部分画像の候補を検索する手法を提案する．

前章で議論されたトラッピング領域の応用を考える．一つのアトラクタのクラスタに対応するトラッピング

領域は，原画像中のエッジで区切られる一つの閉領域を表すと考えられる．我々にとってはそれら閉領域のいくつかの合併（union）が一つの意味のある対象部分画像となる．

そこで，ある形状のテンプレートを用意したとき，いくつかのアトラクタのトラッピング領域の合併と，テンプレートの形状が似ていれば，フラクタル符号化されたデータから直接そのテンプレート形状を包含するレンジブロック  $R_i$  を切り出すことができる．そこで本論文では，この性質を生かしたテンプレートマッチングによる人間領域検出法を提案する．ある特定の形状をした目的物を画像から検索する要求があるとき，その形状を近似するテンプレートを用意し，フラクタル符号データによる IFS のベイソンの集合と比較することで，該当パターンが配置されている位置を検索できる．この際，原画像そのものの復号は不要であることに注意が必要である．

以下に検索アルゴリズムを述べる．

(1) 原画像と同じサイズの画像を用意し，画素値を '1' に初期化する．反復回数  $m$  を決め，各ピクセルの位置を初期値に， $G$  を  $m$  回反復計算する．すると，アトラクタの群が形成される．

(2) クラスタ数  $K$  を決め，得られたアトラクタの群を  $K$ -mean 法を用いて  $K$  個のクラスタに分類する．

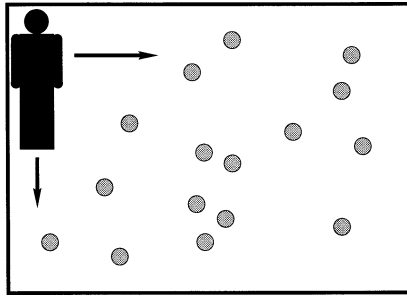
(3) 検索したい形状のテンプレートを用意し，その画素値はすべて '1' とする．テンプレートを，同じ画像平面上で上下左右に走査する．図 1(a) 参照．

(4) 走査しているテンプレート内に，個々のクラスタのクラスタ中心が含まれる場合，それらに収束するベイソンをすべて求める．ベイソン内の画素値を '1' とし，それ以外の領域を '0' とする．図 1(b) を参照．このとき，テンプレート画素値と，求められたベイソンの画素値の積をとり，結果の総和を誤差とする．この誤差があるしきい値  $\epsilon$  より小さければ，その位置に対象部分画像が存在するとみなす．

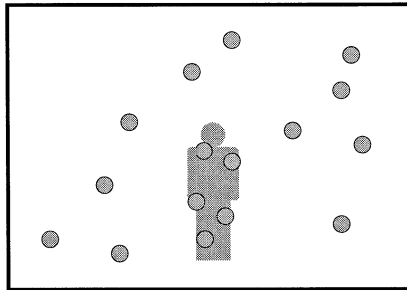
(5) いったん検出されたベイソンに対応するクラスタは，後の走査の対象からは除外し，処理を続行する．これにより，画像内に複数の人間領域が存在した場合でも，各人間領域を検出することが可能である．

(6) しきい値  $\epsilon$  より誤差が小さくなる位置がなくなるまで処理を繰り返す．

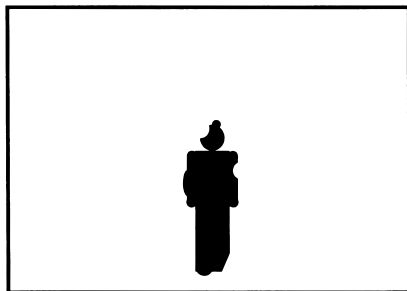
このアルゴリズムにおいて，試行錯誤で  $m = 30$ ,  $\epsilon = 30$  を得た．



(a)



(b)



(c)

図 1 テンプレートマッチングの様子。(a) テンプレートの走査, (b) テンプレート上にクラスタが含まれる場合, (c) 対応する領域分割結果

Fig. 1 Example of template matching. (a) scanning by the template, (b) union of basins and the template. (c) image segmentation result.

図 2 を原画像として, フラクタル符号化によって圧縮し, その圧縮データを用いて人間領域の検出の実験を行った。フラクタル符号化には, 式 (1) において,  $R_i$  のサイズを  $8 \times 8$  とし, 表 1 にあるパラメータを用いて符号化を行った。また, 検索パターンには図 3 を用いた。図 4 は人間領域を分割した結果である。図では, 4 人分の検出結果をまとめて表示しているが, 実際には 1 人ずつ別々に分割される。右端の人物の頭部が少し欠けているものの, ほぼ人間領域部が適切に



図 2 原画像 (1280 × 1024 pixel)  
Fig. 2 The original image. (1280 × 1024 pixel)

表 1 実験に用いたフラクタル符号化のパラメータ  
Table 1 Parameter values used in fractal coding.

parameter	possible value
$r_i$	$\pm \frac{1}{2}$
$\theta_i$	$\frac{\pi j}{2}, j = 0, 1, 2, 3.$
$p_i$	$\frac{5}{4}$
$s_i, t_i$	$\{-8, -7, \dots, 7, 8\}.$
$q_i$	$\{-255, -254, \dots, 254, 255\}.$



図 3 テンプレート (115 × 349 pixel)  
Fig. 3 A sample template (115 × 349 pixel).

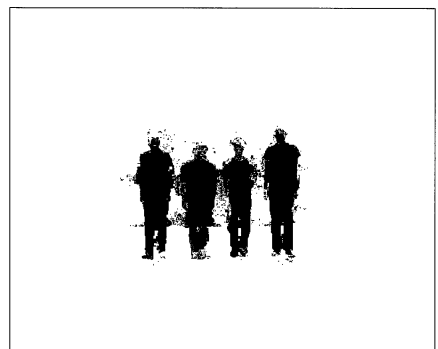


図 4 人間領域分割画像  
Fig. 4 Image segmentation result.

検出されていることがわかる。

写像  $F$  は, 原画像のピクセルの輝度を反映させて符号化を行っている。よって, 写像  $G$  は輝度情報を

無視するとはいえ、エッジ及びエッジで分割される画像の内外の情報は十分再現できているといえる。つまり、本手法の画像検索の性能は、テンプレートの形状にのみ依存し、従来のテンプレートマッチング法などによる画像検索で問題となる、原画像中の輝度の変化の影響は受けない。また、画像内に複数の対象部分画像の候補が存在する場合であっても、同じ検索パターンを用いてそれらの検索、検出が可能である。

#### 4.1 テンプレートの補正と後処理

3.の手法は、同じテンプレートを用いて複数の候補画像の検出を行っている。 $\epsilon$ を大きくすると多くの候補を検出するが、検索パターンと検出結果ができるだけ人間の視覚にとって同一、若しくは相似であるとみなされることが望ましい。3.の人間領域抽出実験では、人物の背の高さなどにより、人間領域の一部分が欠ける、若しくは背景領域と混ざるといった問題が生じる。そこで、問題を画像中の人間領域抽出に絞る、人間の姿勢の不変性のある程度かんがみてテンプレートを補正し、再検索を行い、多くの良い品質の対部分象画像の検出することを目指す。

まず、図5で示すように、テンプレートの縦幅を領域分割結果に合わせる。横幅は縦幅と比べて、それほどの個人による変化はないと考え補正は行わない。そして、補正したテンプレートを用い、最初に人間領域と判定された位置から、左右に $\ell$  pixel、上下に(テンプレートの変化量 +  $\ell$ ) pixelの範囲を再探索する。これにより、個人間の背の高さ等の違いを原因とする問題は軽減できる。

また、実際の間領域とテンプレートの形状ではずれがあるため、不要な周期点を人間領域内のものと判定している可能性がある。そのため、テンプレート上に存在する周期点を一つずつ削除しながら、改めて領域分割し、テンプレートとの誤差を計算し直す。その値が削除前の誤差よりも小さければその周期点はそのまま削除する。テンプレート補正と、この後処理により、はじめに与えるテンプレートと実際の間領域との大きさ等にある程度のずれがあっても、適切な人間領域抽出が可能である。

前節の実験において、図3のテンプレートに対し補正を行った結果を図6に示す。再探索の範囲は試行錯誤で結果を吟味した結果、 $\ell = 16$ と選んだ。図4の結果に対応して、各個人の間領域の大きさが補正されている。これらの補正テンプレートを用いて、改めて人間領域を分割したものが、図7である。領域の誤

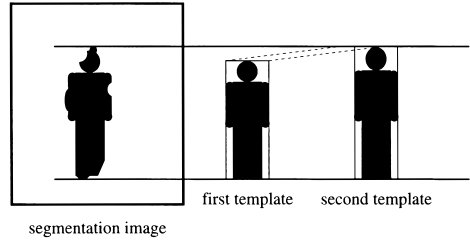


図5 テンプレートの補正  
Fig.5 Correction of the template.

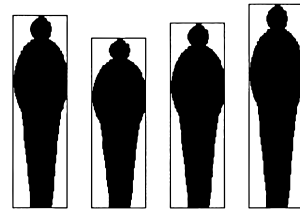


図6 補正されたテンプレート  
Fig.6 The corrected templates.

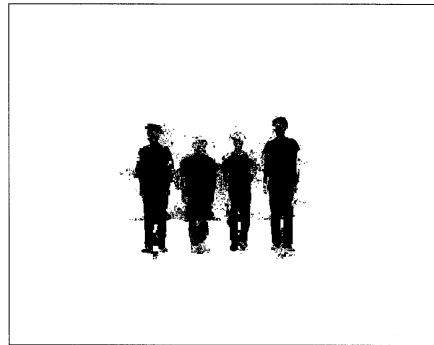


図7 人間領域分割画像(テンプレート補正後)  
Fig.7 Image segmentation result with the template correction.

分割が減少していることがわかる。

#### 4.2 検索画像に対応するフラクタル符号の取得

検索結果画像から対象部分画像を個別に画像として抽出することは、一般に手間がかかる。そこで、検出されたパターンに対応する画像のフラクタル符号を圧縮データから部分的に取り出し、その復号結果から対象部分画像を直接抽出する手法を提案する。

まず、対象部分画像を包含するレンジブロックをすべて求める。これらレンジブロックに対する符号を圧縮データから取得する。符号化過程では、これらレンジブロックが取得した符号の範囲外をドメインブロッ



図 8 人間領域復号画像  
Fig. 8 Decoded images of human regions.



図 9 人間領域抽出結果  
Fig. 9 Extraction result of human regions.

クして選んでいる可能性があるが、これは、3. で示されたように、あるトラッピング領域内のレンジブロックに対しては、同じ領域内のドメインブロックが求まるとい性質から、必要な人間領域は十分に復号できると考えられる。復号は、任意の画像に対して  $F_i$  を再帰的に施せばよい。そして、復号された画像と領域分割結果の積をとることにより、人間領域が抽出される。

図 8 は、図 7 の結果をもとに人間領域符号を取得し、画像を復号したものである。それぞれの人間領域が復号できている。図 8 の結果から図 7 を用いて、人間領域のみを抽出した結果が図 9 である。人間領域のみがうまく抽出されている。人間領域が存在する部分のみを復号するため、画像全体を復号して結果を出すよりも高速である。また、取得された符号は、それに則したヘッダ情報を付加することで、独立したフラクタル符号化の圧縮データとして保存することが可能であり、画像全体の圧縮データを保存するよりも蓄積媒体の節約ができるという利点もある。

ここで、図 9 は、原画像 2 と図 7 との積によって得られたのではないことを付記する。つまり、以上の処理では、圧縮データのみですべての処理を行うことができ、パターン検索において、原画像は全く必要がない。

## 5. むすび

フラクタル符号化の圧縮データを用いた領域分割手法の応用として、画像パターンの検索、抽出法を提案した。本手法ではテンプレートは形状情報のみであり、一つのテンプレートで画像内の複数の領域を抽出することが可能である。また、領域分割結果からテンプレートを適切に補正することで、より適切な対象対象部分画像を抽出することを可能とした。更に、圧縮データから検出画像の部分のみの符号を取得し、その復号画像より対象部分画像を抽出するため、圧縮データより直接すべての処理が可能である。

今後の課題としては、いくつかのパラメータの調整などによる領域分割の精度向上や、複雑な画像による検索実験などが挙げられる。

## 文 献

- [1] M.F. Barnsley and L.P. Hurd, Fractal image compression, AK Peters, 1993.
  - [2] A.E. Jacquin, "Image coding based on A fractal theory of iterated contractive image transformations," IEEE Trans. Image Process., vol.1, no.1, pp.18-30, 1992.
  - [3] 徳永隆治, 最も簡単なカオスの力学系 IFS, 応用カオス, 合原一幸編著, サイエンス社, 1994.
  - [4] N. Lu, Fractal imaging, Academic Press, 1997.
  - [5] 中野勝彦, 中川匡弘, "カラー画像の階層的 IFS 符号化," 信学論(A), vol.J81-A, no.11, pp.1592-1599, Nov. 1998.
  - [6] T. Ida and Y. Sambonsugi, "Image segmentation using fractal coding," IEEE Trans. Circuits & Syst. for Video Technology, vol.5, no.6, pp.567-570, 1995.
  - [7] 愈 弦培, 白木教義, 徳永隆治, "フラクタル変換による画像領域分割—井田の領域分割法の改善," 信学論(A), vol.J82-A, no.12, pp.1793-1800, Dec. 1999.
  - [8] 武内 朗, 上田哲史, 寺田賢治, "相似領域を可変としたフラクタル符号化を用いた画像領域分割," 信学論(D-II), vol.J83-D-II, no.7, pp.1695-1700, July 2000.
  - [9] 古沢竜志, 中川匡弘, "輝度に対するマルチスケールを用いたフラクタル画像符号化," 信学論(A), vol.J84-A, no.3, pp.321-328, March 2001.
- (平成 13 年 8 月 15 日受付, 9 月 28 日最終原稿受付)