

# サブバンドおよびベクトル量子化と組み合わせた フラクタル画像符号化

## Fractal Image Coding Combined with Sub-band and Vector Quantization

石川 敬介<sup>1)</sup> 中村 栄治<sup>2)</sup> 沢田 克敏<sup>2)</sup>  
Keisuke ISHIKAWA<sup>1)</sup>, Eiji NAKAMURA<sup>2)</sup>, Katsutoshi SAWADA<sup>2)</sup>

**Abstract :** In order to improve the performance of fractal image coding, this paper proposes two new coding schemes which are combined with sub-band decomposition and vector quantization.

In the first proposed scheme, fractal block coding or vector quantization is employed block by block adaptively. In the second proposed scheme, an input image is first decomposed to low and high resolution sub-band images. The fractal block coding with adaptive range block size is performed only for the lowest resolution sub-band image. On the other hand, vector quantization is carried out for the other high resolution sub-band images. The results by computer simulation experiments show that the two proposed coding schemes give higher SNR (Signal-to-Noise Ratio) values and better reconstructed image qualities compared to the conventional fractal block coding scheme.

### 1. はじめに

近年、さまざまな分野での画像のデジタル化が進んでいるが、デジタル画像は音声情報等に比べて情報量が極めて多くなるため、そのまま伝送したり蓄積したりするとコストが増大してしまう。そのような問題を解決するために、何らかの効率的な画像符号化技術が必要である。現在、標準化されている画像符号化技術として JPEG や MPEG などがあるが、より効率の良い画像圧縮符号化技術を探るために、様々な符号化方式の研究が行われている。その中で注目されている方式の一つとしてフラクタル画像符号化<sup>[1], [2]</sup>が挙げられる。

フラクタルとは元々「その一部を拡大しても全体あるいはそれより大きい部分と同じような形や複雑さを有しているような図形や集合」を意味し、このような性質は自己相似性と呼ばれている。フラクタル符号化とは、自然画像が持つ自己相似性を利用し、コラージュ定理<sup>[3]</sup>の考え方に基づいた反復関数系 (IFS: Iterated Function System)<sup>[3]</sup>を用いた符号化である。コラージュ定理とは、ある画像の部分領域に対して縮小アフィン変換を行って作成された部分画像(コラージュ)が自己相似を満たすとき、反復関数系によって元の画像を再生することができることを示したものである。

フラクタル符号化は、画像の持つ波形の統計的な冗長性を利用する従来の画像符号化と異なり、画像が持つ構造的な特徴である自己相似性を利用したものである。画像を幾何学的に扱っているため、高周波成分をカットすることにより圧縮を達成する DCT などの従来の画像符号化より自然な形で画像を再生できることや、符号化処理として縮小変換を扱っているために、任意の解像度の画像に伸張できることが注目されている。しかし、エッジ部分やテクスチャ部分のような輝度変化の激しい画像領域では適切な相似性を見つけることが困難であるため、十分な符号化性能が達成できないという問題点がある。

本稿では、フラクタル符号化の問題点であるエッジ部分などの輝度変化の激しい領域での符号化性能劣化を解決することを目的として、サブバンド<sup>[4]</sup>およびベクトル量子化 (VQ: Vector Quantization)<sup>[5]</sup>と組み合わせた新しい符号化方式を2つ提案し、計算機シミュレーション実験によりその特性を明らかにする。

以下2章ではフラクタル符号化のあらましを、3章では第1の提案方式であるフラクタル/VQ 適応切り換え符号化を、4章では第2の提案方式であるサブバンド VQ と組み合わせたフラクタル符号化を説明し、5章ではシミュレーション実験結果を述べる。最後に6章で本稿のむすびを行う。

1)愛知工業大学大学院 電気電子工学専攻

2)愛知工業大学 情報通信工学科

## 2. フラクタル符号化のあらまし

本章では、以後の3章、4章で提案する方式の前提となるフラクタル符号化のあらましについて述べる。

### 2.1 符号化アルゴリズム

フラクタル符号化部の基本符号化アルゴリズムについて述べる。まず、圧縮対象の原画像を図1のように $B \times B$ 画素のいくつかの小ブロック(レンジブロック)に分割する。符号化はこのブロック単位で行う。それぞれのレンジブロックごとに、それを中心とした任意の範囲の正方領域(ドメインプール)から $2B \times 2B$ の大きさのブロック(ドメインブロック)を切り出す。そして、このドメインブロックに対して以下の(1)から(3)に示す縮小幾何変換を施し、注目しているレンジブロックと輝度値分布が最も近いドメインブロックの位置とその変換パラメータを総当たりに探索する。

- (1) 画像平面上の面積的な縮小変換: 水平方向、垂直方向共に $1/2$ の大きさ(レンジブロックと同じ大きさ)にする。
- (2) 輝度値のコントラストを一致させるコントラスト縮小変換および平均輝度値を一致させる輝度値のシフト変換する。
- (3) ブロックの中心点を原点とした $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 回転変換、及び $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 方向の中心軸に対する鏡像変換の合計8種類の画素配置変換(表1参照)する。

これら3種類からなる縮小アフィン変換をドメインブロック $D$ に施した結果として得られるブロック $D'$ によ

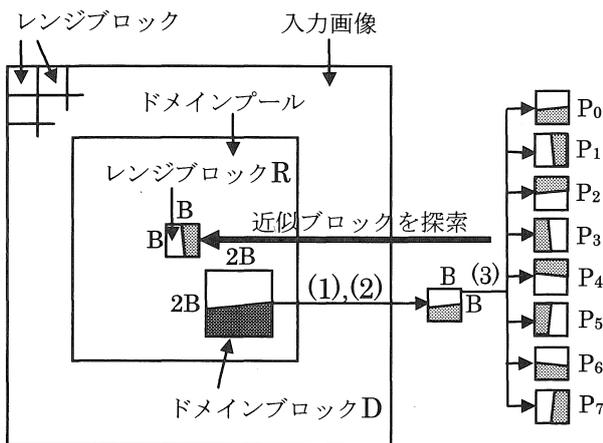


図1 フラクタル符号化

表1 画素配置変換パターン

	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>
回転	0°	90°	180°	270°				
鏡像					0°	45°	90°	135°

てレンジブロック $R$ を近似する。このときの近似精度を測る尺度として、平均2乗誤差を用いる。これは、レンジブロック $R$ の点 $(i,j)$ における輝度値を $R_{i,j}$ 、近似ブロック $D'$ の輝度値を $D'_{i,j}$ として、式(1)で表される。この平均2乗誤差 $e^2$ が最小となるときの、最適近似が与えられたと判断する。

$$e^2 = \frac{1}{B^2} \sum_{i=0}^{B-1} \sum_{j=0}^{B-1} (R_{i,j} - D'_{i,j} + d)^2$$

$$D'_{i,j} = a \times \varepsilon(\chi(D_{k,l}))$$

$$d = \bar{D}' - \bar{R}$$
(1)

$e^2$ : レンジブロック $R$ と縮小変換近似ブロック $D'$ との平均2乗誤差

$B$ : レンジブロックの水平、垂直サイズ

$R_{i,j}$ : レンジブロック内の画素値

$D_{k,l}$ : ドメインブロック内の画素値

$D'_{i,j}$ : 縮小変換近似ブロックである近似ブロック $D'$ 内の画素値

$\bar{R}$ : レンジブロック $R$ の平均輝度値

$\bar{D}'$ : 縮小変換近似ブロック $D'$ の平均輝度値

$d$ : レンジブロック $R$ と縮小変換近似ブロック $D'$ の平均輝度値のシフト量

$a$ : コントラスト縮小率

$\chi()$ : 面積的な縮小変換

$\varepsilon()$ : 8種類の画素配置変換

このようにして、一つの注目しているレンジブロック $R$ に対して、最も良い近似を与えるドメインブロック $D$ の探索位置、縮小アフィン変換の変換行列(コントラスト縮小率、8種類の画素配置変換パターン)を符号化データとする。

このときすべてのレンジブロックに対してフラクタル符号化を施すことは効率が悪いので、輝度変化の少ないブロックに対しては簡略法を用いることがある。すなわち、レンジブロック内の分散 $\sigma^2$ が一定閾値以下のとき、そのブロックをシェードブロックと呼び、一様の輝度値を持つとみなして上述の探索を行わず、ブロックの平均輝度値 $\bar{R}$ のみを符号化データとする。分散値 $\sigma^2$ は以下の式(2)より求められる。

$$\sigma^2 = \frac{1}{B^2} \sum_{i=0}^{B-1} \sum_{j=0}^{B-1} (R_{i,j} - \bar{R})^2$$
(2)

最適な近似ブロックが評価基準(レンジブロックとの平均2乗誤差 $e^2$ が閾値以下)を満たさない場合については、図2のようにレンジブロック $R$ を4分割し、 $B/2 \times B/2$ のレンジブロックサイズで上と同様に符号化する。これを4分割可変レンジブロックサイズ方式と呼ぶ。このとき、4分割するかどうかの判定のため、最小ブロック以外はすべて1ビットが付加される。

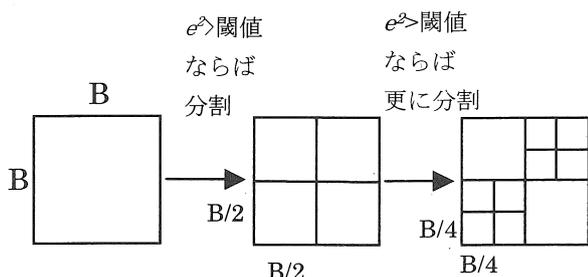


図 2 レンジブロックの分割

2・2 復号化アルゴリズム

フラクタル復号化部の基本アルゴリズムについて説明する。初期画像として任意の画像データを用意する。まず、符号化のときと同じように、初期画像を  $B \times B$  画素のレンジブロックに分割する。各レンジブロックの大きさは、判定ビットより 4 分割するかどうかを判定して決められる。それぞれのレンジブロックごとに、符号化データをもとにドメインブロックを切り出し、それを縮小変換して復号ブロックをつくり、復号対象となるレンジブロックと置き換える。この処理をすべてのレンジブロックに対して行い、第 1 回目の再生画像を再生する。この再生画像を初期画像として上記の処理を再生画像が十分に収束するまで繰り返し行う。

なお、復号後に後処理として、隣接するブロック間の継ぎ目を平滑化して滑らかにする処理を行うことがある。

3. フラクタル/VQ 適応切り換え符号化

本章では第 1 の提案方式としてフラクタル/VQ 適応切り換え符号化について述べる。本方式はフラクタル符号化の縮小変換で近似精度の良いものが見つからなかったブロックに対して平均値分離正規化 VQ<sup>[6]</sup>を行う方式である。

3・1 ベクトル量子化

ベクトル量子化 (VQ: Vector Quantization) <sup>[5]</sup>は、複数の画素をまとめてベクトルとして同時に量子化するもので、高い情報圧縮 (高い符号化効率) を実現することが可能である。まず、複数の代表ベクトルの集合 (コードブックと呼ばれる) を送受信側で用意しておき、送信側では入力画像から切り出したブロックが表すベクトルパターンに最も近い代表ベクトルパターンを探索、選択し、このコード番号 (インデックス値と呼ばれる) を受信側に伝送する。受信側では、伝送されたコード番号に対応するベクトルパターンを参照して、そのブロックを復号画像の復号対象ブロックと置き換えることによって、再生画像を得る。

3・2 平均値分離正規化 VQ

平均値分離正規化 VQ<sup>[6]</sup>とは、ベクトル内の画素を平均値分離し、更にその値を標準偏差で正規化した後に適用する VQ のことである。量子化対象ベクトルの平均値と標準偏差が画像によってばらつく従来の VQ と比較して、平均値分離正規化することによって、平均値が 0、標準偏差が 1 の量子化対象ベクトルに対して適用する VQ であるために、汎用性の高いコードブックを作成できる。ただし、平均値と標準偏差の分だけ符号情報量が増える。

この方式では、まず式(3)の入力ベクトル  $\vec{x}$  のベクトルに対してその平均値  $\bar{x}$  と標準偏差  $\sigma$  を式(4)、(5)で求める。

$$\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_K) \tag{3}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K x_j \tag{4}$$

$$\sigma = \left[ \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K (x_j - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \tag{5}$$

次にベクトル  $\vec{x}$  を  $\bar{x}$  と  $\sigma$  とを用いて式(6)によって平均値分離正規化する。

$$\vec{x}' = \frac{1}{\sigma} (x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}, \dots, x_K - \bar{x}) \tag{6}$$

式(6)で求められたベクトル  $\vec{x}'$  に対してコードブックを設計して 3.1 と同様にベクトル量子化を行う。  $\bar{x}$  と  $\sigma$  は別情報として送信する。

3・3 フラクタル/VQ 適応切り換え符号化アルゴリズム

フラクタル/VQ 適応切り換え符号化の符号化アルゴリズムについて、以下に具体的に示す。

図 3 に各ブロックに対する符号化処理の流れを示す。符号化側では、まず、画像を従来のフラクタル符号化と同様にレンジブロックにわけ、次に、各レンジブロックに対して、従来のフラクタル符号化を行う。(シェードブロック処理も含む) フラクタル符号化の復元性が基準 (原画像ブロックとの平均 2 乗誤差が閾値以下) を満たさなければ平均値分離正規化 VQ を行う。このときブロックごとの符号化データにどちらの方式 (フラクタル符号化と平均値分離正規化 VQ) で符号化したのかの判定ビットを付加する。また、どちらの符号化でも閾値以上の復元性を保てなかった場合 (平均 2 乗誤差が閾値以上であった場合) はブロックを 4 分割して更に小さいブロックサイズで符号化を行う。

復号化側では、判定ビットによりどちらの符号化を行ったのかを判定し、それに対応する方法で復号する。フラクタル符号化を行ったレンジブロックが含まれているので復号処理を数回繰り返す必要がある。

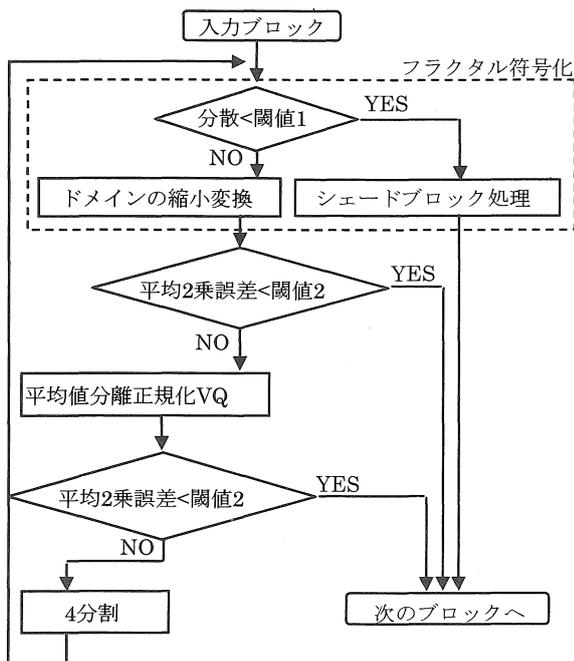


図3 フラクタル/VQ適応切り換え符号化の処理の流れ

#### 4. サブバンドVQと組み合わせたフラクタル符号化

本章では、第2の提案方式としてサブバンドVQ<sup>[7]</sup>と組み合わせたフラクタル符号化について述べる。本方式はフラクタル符号化が得意とする輝度変化の少ない平坦な低周波成分と、復元画質劣化の原因となる高周波成分とをサブバンド分割によって分けて、低周波成分に対してはフラクタル符号化を、高周波成分に対してはVQ(サブバンドVQ<sup>[7]</sup>)を行う方式である。

##### 4.1 サブバンド分割

サブバンド分割<sup>[4]</sup>は、フィルタリングにより画像を周波数帯域別に分割するものである。サブバンド分割の具体的なアルゴリズムを図4にもとづいて以下に示す。

入力画像に対して、まず水平方向に低域通過フィルタ(LPF:ローパスフィルタ)、高域通過フィルタ(HPF:ハイパスフィルタ)をかけ、続いて、水平方向に1/2ダウンサンプリングを行い、水平方向の画像サイズを1/2に縮小する。次に、それぞれ垂直方向にLPF、HPFをかけて、今度は垂直方向に1/2ダウンサンプリングを行い、垂直方向の画像サイズを1/2に縮小する。このようにして、周波数帯域の異なる4つのサブバンド画像、LL(水平、垂直ともに低周波)、LH(水平は低周波、垂直は高周波)、HL(水平は高周波、垂直は低周波)、HH(水平、垂直ともに高周波)ができあがる。これら4つのサブバンド画像の画素数の総和は元の入力画像の画素数に等しい。

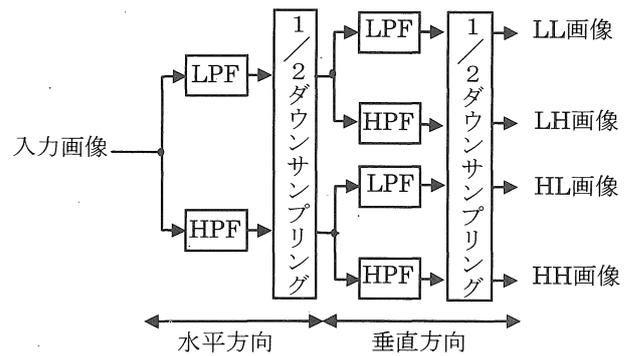


図4 サブバンド分割部の構成

##### 4.2 サブバンドVQ

一般に画像は画素間の相関が高いため、サブバンド画像の中でも低周波成分(LL画像)に電力が集中する。高周波成分は0付近に値が集中する。また、4つのサブバンド画像の総画素数は入力画像の画素数と同じである。従って、LL画像に多くのビット数を割り当て、他の画像は少ないビット数を割り当てることにより、効率的な符号化が可能となる。各サブバンドの符号化方式としては、低域のサブバンドは空間的な相関が比較的高いので、高い相関を利用する予測符号化や直交変換符号化などが、それ以外のサブバンドでは相関が低いのでVQなど適用されることが多い。高周波成分に対してVQを適用したものをサブバンドVQ<sup>[7]</sup>と呼ぶ。

##### 4.3 サブバンドVQと組み合わせたフラクタル符号化アルゴリズム

図5にサブバンドVQと組み合わせたフラクタル符号化の符号化処理の流れを示す。まず、画像をサブバンド分割し、最低周波数成分LLに対してのみ可変レンジブロックサイズのフラクタル符号化を行う。ただし、分散がある値以下のブロックはシェードブロックとみなし、ブロックの値を全て平均輝度値に置き換え、ドメインブロックの縮小変換による符号化を行わない。一方、LL以外の高周波成分に対してはVQを行う。ただし、高周波成分は0付近に値が集中するため、平均電力 $P$ が閾値以下のブロックをゼロブロックとみなし、ブロックの値を全て0に置き換え、VQ符号化を行わない。これは符号化時間の短縮にもつながる。これはフラクタル符号化でシェードブロックを使用することと酷似している。

サイズ $B \times B$ のブロックの平均電力 $P$ は以下の式(7)で求められる

$$P = \frac{1}{B^2} \sum_{i=0}^{B-1} \sum_{j=0}^{B-1} x_{i,j}^2 \quad (7)$$

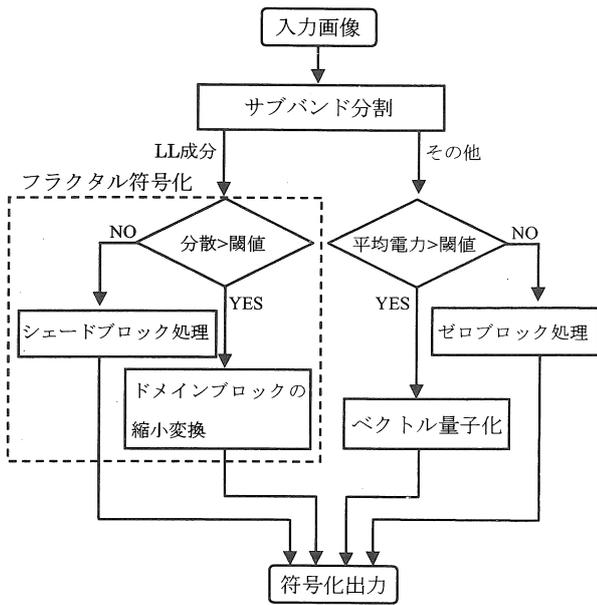


図5 サブバンドVQと組み合わせたフラクタル符号化の処理の流れ



図6 画像 Lenna

## 5. シミュレーション実験

提案方式の特性を明らかにするため、以下の4通りの方式について計算機によるシミュレーション比較実験を行った。

- (1) 従来のフラクタル符号化
- (2) 平均値分離正規化 VQ
- (3) 提案方式1:フラクタル/VQ 適応切り換え符号化
- (4) 提案方式2:サブバンド VQ と組み合わせたフラクタル符号化
- (5) JPEG

### 5・1 実験条件

実験条件は以下の通りである。

#### (1) 評価画像と符号化レートの制御

- ・ 評価画像 : Lenna(512×512) : 8[bit/pixel]、図6参照
- ・ 符号化レートの可変制御:フラクタル符号化のレンジブロックを4分割するかどうかを判定する閾値を変化させる(10~300)。

#### (2) フラクタル符号化の条件

- ・ 平均輝度値の符号化方法 : DPCM・・・前値予測 (等間隔線形量子化ステップサイズ4)
- ・ 後処理 : ブロックサイズが8×8の場合、ブロック間の継ぎ目を平滑化して滑らかにする。
- ・ レンジブロックサイズ:4分割可変レンジブロックサイズ方式・・・8×8・4×4・2×2pixelの3段階
- ・ ドメインブロックサイズ:水平垂直方向それぞれレンジブロックサイズの2倍

- ・ ドメインブロックの探索範囲 (ドメインプール) : 水平垂直方向それぞれ中心より-16~+14pixel
- ・ ドメインブロックの位置探索精度 : 2[pixel]
- ・ ドメインブロックの位置探索に使用するビット数:水平垂直方向ともにそれぞれ4[bit]
- ・ 画素配置変換パターン : 8パターン (90度ずつ変化させたもの4つとその鏡像。)
- ・ コントラスト縮小率 : 1.0, 0.8, 0.6, 0.4の4個
- ・ シェードブロックかどうかを判定する閾値 : 10
- ・ 可変レンジブロックサイズ制御:平均2乗誤差と閾値の比較による判定
- ・ 復号の繰り返し回数 : 10回

#### (3) ベクトル量子化の条件

- ・ フラクタル/VQ 適応切り換え符号化において、VQを行うかどうかの判定閾値:可変レンジブロックサイズ制御に使用する閾値と同じ値
- ・ コードブック作成アルゴリズム : LBG アルゴリズム & スプリッティングアルゴリズム[5],[6]。
- ・ 平均値分離正規化 VQ のレベル数 : 2048
- ・ 平均値分離正規化 VQ 時の標準偏差の符号化方法 : 5ビット等間隔線形量子化
- ・ サブバンド VQ の次元数 : 16 (4×4の正方形のブロック)
- ・ サブバンド VQ のレベル数 : LH, HL・・・2048, HH・・・1024
- ・ ゼロブロックとするかどうかの判定閾値 : 10 (低周波数成分LLのフラクタル符号化のシェードブロックとするかどうかの判定閾値と同じ値にする)

#### (4) サブバンド分割、合成の条件

- ・ 分割合成フィルタ: 32 タップの QMF<sup>[8],[9]</sup>.
- ・ フィルタリングにおける画像端の処理: 環状法・・・画像端にもう 1 枚同じ画像があると仮定してフィルタリングを行う

#### (5) 結果の評価

結果の評価は、1 画素当りのビットレートと画質を示す SNR で行う。また、符号化ビットレートはエントロピーで評価する。計算式は以下になる。事象の発生確率を  $P_i$  とするとエントロピー  $H$  は式(8)で与えられる。

$$H = -\sum_{i=0}^{N-1} P_i \log_2 P_i \quad [\text{bit/pe}] \quad (8)$$

$P_i$ : 事象の発生確率

$N$ : 事象の数

原画像と再生画像の画素値の差を雑音とすると、SNR は式(9)で与えられる。 $S_{pp}$  (=255) は画像信号(0~255)の pp 値で、 $N_{rms}$  は雑音実効値である。

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} \frac{S_{pp}}{N_{rms}} \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

$$N_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{I-1} \sum_{j=0}^{J-1} (x_{ij} - y_{ij})^2}{I \times J}}$$

$S_{pp}$ : 255

$I \times J$ : 総画素数 (本実験では  $512 \times 512$ )

$x_{ij}$ : 原画像の画素値

$y_{ij}$ : 再生画像の画素値

### 5・2 実験結果と考察

図 7 に各方式の符号化ビットレートと SNR の関係を示す。

従来のフラクタル符号化と平均値分離正規化 VQ を比較すると、フラクタル符号化の方が符号化効率が高いが、提案方式 1 と従来のフラクタル符号化を比較すると提案方式 1 のほうが符号化効率が高い。

全てのブロックに対して平均値分離正規化 VQ を行うと、標準偏差を別情報として送る必要があるため、その分だけブロックあたりにかかる情報量が増大するが、提案方式 1 のようにフラクタル符号化で十分な近似が得られなかったブロックに対してのみ平均値分離正規化 VQ を行うことで、レンジブロックを 4 分割してフラクタル符号化を行うよりも少ない情報量で、より良い近似ができてることが予測できる。

提案方式 2 ではさらに符号化性能が向上した。提案方式 2 は従来のフラクタル符号化と比較して、同一ビットレートで 2dB ほど SNR が高い。これによりフラクタル符号化が得意とする輝度変化の少ない平坦な低周波成分と、復元画質劣化の原因となる高周波成分とをサブバンド分割によって分けることが有効であることが確かめられた。

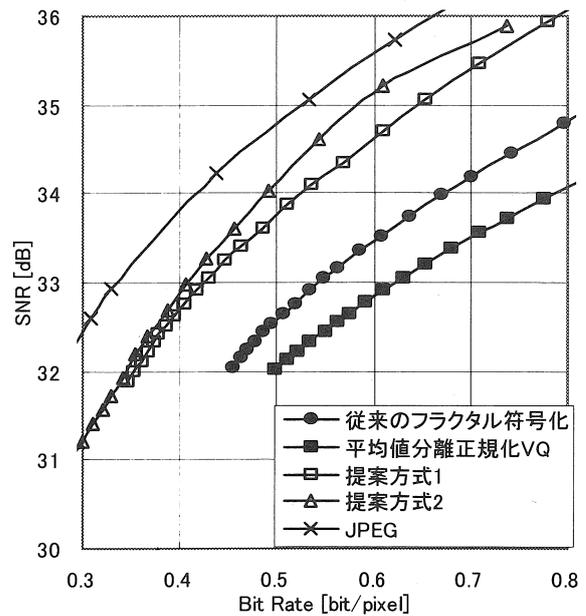


図 7 符号化ビットレートと SNR の関係

JPEG と比較した結果、最も良い提案方式 2 でも JPEG の符号化効率には約 1dB~0.5dB 及ばないという結果となった。

画質を主観的に評価するために、図 8 に従来のフラクタル符号化の再生画像の一部を、図 9 に符号化性能の良かった提案方式 2 の再生画像の一部を示す。ビットレートはほぼ同じである。

従来のフラクタル符号化の再生画像よりも、方式 2 の再生画像のほうが、帽子のしわや髪の毛などの細部がはっきりと再現されていることが分かる。

### 6. むすび

本稿では、サブバンドおよび VQ と組み合わせたフラクタル画像符号化方式を提案し、計算機シミュレーション実験によりその特性を検討した。第 1 の提案方式の“フラクタル/VQ 適応切り換え符号化”では、フラクタル符号化の縮小変換で近似精度の良いものが見つからなかったブロックに対して平均値分離正規化 VQ を行った。第 2 の提案方式の“サブバンド VQ と組み合わせたフラクタル符号化”では、画像をサブバンド分割して最低周波数成分のサブバンド画像に対してのみ可変レンジブロックサイズフラクタル符号化を行い、他のサブバンド画像に対してはベクトル量子化とゼロブロック処理を行った。どちらの方式においても従来方式と比べて、符号化性能が向上することが確かめられたが、とりわけ、提案方式 2 のサブバンド VQ と組み合わせたフラクタル符号化のほうがより符号化性能が向上することが明らかになった。



図 8 従来方式の再生画像

Bit Rate : 0.546[bit/pixel], SNR : 33.04[dB]



図 9 提案方式 2 の再生画像

Bit Rate : 0.542[bit/pixel], SNR : 34.60[dB]

今後の課題としては、フラクタル画像符号化の符号化性能の一層の向上、符号化時間の短縮等の検討が挙げられる。

### 参考文献

- [1] A. E. Jacquin, "Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformation", IEEE Trans. Image processing, Vol.1, No.1, pp.18-30, Jan.1992.
- [2] A. E. Jacquin, "Fractal Image Coding: A Review", Proceedings of the IEEE, Vol.81, No.10 pp.1451-1465, Oct.1993.
- [3] M. Barnsley, "Fractals Everywhere", San Diego, Academic Press, 1988.
- [4] J. W. Woods and Sean D.O'Neil, "Subband Coding of Images", IEEE Trans. Vol. ASSP-34, No.10, pp.1278-1288, Oct 1986.
- [5] Y. Linde, A. Buzo, and R. Gray, "An Algorithm for Vector Quantizer Design", IEEE Trans. Commun. , vol.COM-28, No.1, pp.84-95, Jan.1980.
- [6] 原島博監修, 「画像情報圧縮」, オーム社, 1992.
- [7] 岸野文郎, 佐藤隆夫, 横矢直和, 相澤清晴, 有川正俊, 「画像と空間の情報処理」, 岩波書店, 2000.
- [8] D. Esteban and C. Galand, "Application of quadrature mirror filters to split band voice coding schemes", ICASSP'77, Vol. , pp.191-195, 1977.
- [9] 貴家仁志, 「よくわかるデジタル画像処理」, CQ 出版株式会社, 1996.
- [10] 越智宏, 黒田英夫, 「JPEG&MPEG 図解でわかる画像圧縮技術」, 日本実業出版社, 1999.
- [11] M. ネルソン, J.-L. ギェリ, 「データ圧縮ハンドブック改定第 2 版」, 株式会社トッパン, 1996.

(受理 平成15年 3 月19日)