

サブバンド分割と組み合わせたフラクタル画像符号化

Fractal Image Coding combined with Sub-band Decomposition

永井 進也¹⁾ 中村 栄治²⁾ 沢田 克敏²⁾

Shinya NAGAI¹⁾, Eiji NAKAMURA²⁾, Katsutoshi SAWADA²⁾

Abstract : In order to improve the performance of fractal image coding, this paper proposes a new coding scheme which is combined with resolution decomposition by sub-band. In the 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 direct quantization and entropy coding are carried out for the other high resolution sub-band image. The residual difference between reconstructed and original lowest resolution sub-band image is also quantized and entropy coded in order to enhance the coding performance. Computer simulation experiment were carried out employing 4 sub-bands and 7 sub-bands decompositions. The results show that the proposed coding scheme gives 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、インターネットの拡大に伴う情報伝達手段として、画像メディアの重要性はますます高まってきている。しかし、画像情報は非常に膨大な情報量を持っているため、通信の際に伝送時間がかかるなどの様々な問題が生じてくる。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JPEG⁵⁾やMPEG⁵⁾などがあるが、より効率の良い画像符号化技術を目指して、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画像符号化技術の一つとして、フラクタル画像符号化が挙げられる。

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。フラクタル画像符号化とは、自然画像が持つ自己相似性を性質を利用し、コラージュ定理^{1),2)}の考え方に基づいた反復関数システム(IFS: Iterated Function System)^{1),2)}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単純な一次変換等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時、反復関数システムによって画像を再

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、画像を信号波形として処理する従来の画像符号化とは異なり、画像をパターンとして取り扱っており、従来の画像符号化より自然な形で画像を再生することが可能である。しかし、エッジ部分のような高周波成分の多い画像領域では十分な符号化特性が達成できず、再生画像の劣化を招くという問題がある。

本稿では、フラクタル画像符号化の問題点であるエッジ部分などの高周波成分での性能劣化を解決することを目的として、サブバンド分割と組み合わせた新しい符号化方式を提案し、計算機実験によりその特性を明らかにする。

2. フラクタル画像符号化のあらまし

2・1 フラクタル符号化の基本アルゴリズム

図1に基づいてフラクタル画像符号化の基本アルゴリズム^{2),3)}を説明する。始めに、符号化対象画像を互いに重なり合わない $N_x \times N_y$ の大きさのレンジブロックに分割する。そして、各レンジブロックを取り囲む任意の大きさの正方領域を設定する。これをドメインプールという。次にドメインプール内から $2N_x \times 2N_y$ のドメインブロックを切り出す。それを水平方向(X方向)、垂直方向(Y方向)それぞれに対して1/2に縮小変換し、 $N_x \times N_y$ の縮小ドメインブロックを作成する。この縮小変換は隣り合う4点の画素値の平均を求め、それを変換後の画素値とするこ

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

とにより行う。

次に、表1に示すように、この縮小ドメインブロックに対して中心点を原点にしてそれぞれ 0° , 90° , 180° , 270° 回転させたパターンと、 0° , 45° , 90° , 135° 方向の中心軸に対する鏡像を行ったパターンの計8つのパターンを作成する。そして、式(1)の評価関数によりレンジブロックとパターン P_k の近似度を求め、関数値が最小となるパターンを選択する。そのときのドメインブロックを切り出した座標、回転・鏡像による変換パターン、レンジブロックの平均輝度値を符号化パラメータとして保存する。以上の操作をドメインプール内においてドメインブロックを切り出す位置を変えながら繰り返し行い、評価関数値が最小となる最適な符号化パラメータを求める。

復号化では、任意の初期画像を用意し、符号化側と同じように $N_x \times N_y$ のレンジブロックを設定する。そして、送信されてきた符号化パラメータにもとづいて各レンジブロックに対応した $2N_x \times 2N_y$ のドメインブロックを切り出し、符号化処理と同様の手順で縮小ドメインブロックを作成する。これに対して符号化パラメータに対応する回転・鏡像変換を行い、さらに縮小ドメインブロックの平均輝度値とレンジブロックの平均輝度値の差の値だけ画像振幅値方向の一定量シフトを行う。この作業を全てのレンジブロックに対して行うことにより第一段階の再生画像を得る。この再生画像に対して同様の作業を繰り返し行うことで極限画像に収束させ、最終的な再生画像を得る。

$$e^2 = \frac{1}{N_x \times N_y} \sum_{i=0}^{N_x-1} \sum_{j=0}^{N_y-1} (R_{i,j} - a \times C_{i,j} + b) \quad (1)$$

$$b = a \times \overline{D} - \overline{R}$$

e^2 : レンジブロックとパターン変換された縮小ドメインブロックの差の平均2乗誤差

N_x, N_y : レンジブロックのサイズ

$R_{i,j}$: レンジブロック内の画素値

$C_{i,j}$: 縮小ドメインブロック内の画素値

\overline{R} : レンジブロックの平均輝度値

\overline{D} : 縮小ドメインブロックの平均輝度値

b : シフト量

a : 縮小率

表1 8種類の回転・鏡像変換パターン

	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
回転	0°	90°	180°	270°				
鏡像					0°	45°	90°	135°

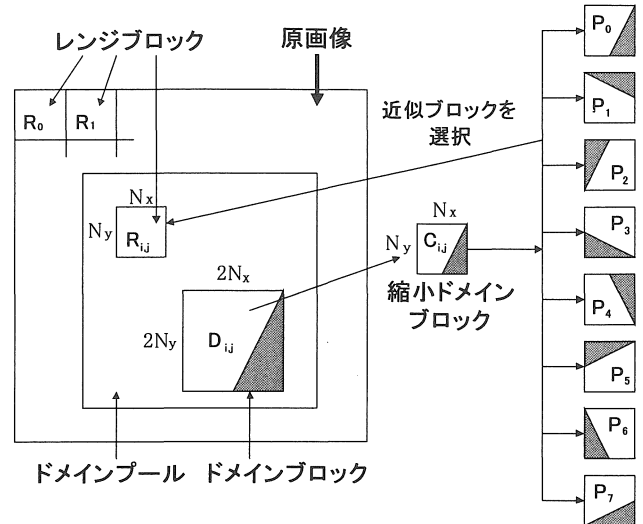


図1 フラクタル画像符号化

2・2 可変レンジブロックサイズフラクタル符号化アルゴリズム^{1),7),8)}

一般的に画像は、その中に単純なパターンや複雑なパターンなどを含んでおり、それらがあるところでは単純に、あるところでは複雑に絡み合いながら構成されている。そのため、符号化しやすい(e^2 が小さい)領域と符号化しにくい(e^2 が大きい)領域が1枚の画像内に混在することになる。したがって、符号化を行う際に画像を等サイズのブロックに区切り、それぞれのブロックに対して等量の情報を与えていくのでは情報圧縮の効率が悪い。

可変レンジブロックサイズフラクタル符号化では、各ブロックの大きさを、符号化をしやすいところでは大きく、符号化しにくいところでは小さくすることにより、効率的に情報圧縮を行う。

図2、図3に基づいて可変レンジブロックサイズフラクタル符号化アルゴリズムを説明する。初めに、 $N_x \times N_y$ の大きさのレンジブロックで、2・1で述べたフラクタル符号化処理を行う。そして、符号化処理によって得られた $N_x \times N_y$ レンジブロックの評価関数 e^2 (式(1)参照)の値が決められた閾値(T_1)より小さければ、そのレンジブロックに対する符号化処理を終了し、閾値より大きければ、 $N_x/2 \times N_y/2$ の4つのレンジブロックに分割する。

分割したレンジブロック毎に再び符号化処理を行い、レンジブロック毎に閾値 (T_2) と比較して判別を行う。

もし、 e^2 閾値より小さければそこで符号化処理を終了し、大きければそのレンジブロックだけをさらに4分割し、同様の処理を行う。なお、本論文の方式ではレンジブロックサイズは3段階に変化させる。

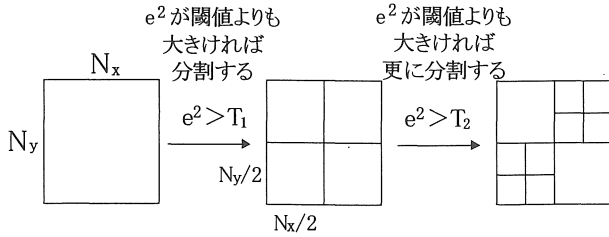


図2 レンジブロックサイズの分割

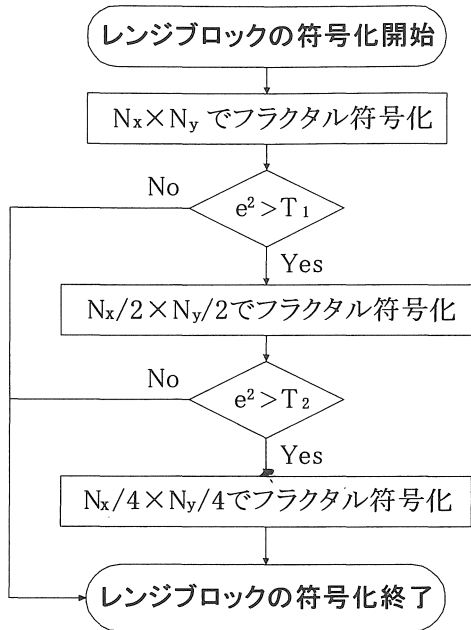


図3 可変レンジブロックサイズフラクタル符号化フローチャート

3. サブバンド分割と組み合わせたフラクタル画像符号化

フラクタル画像符号化の性能向上を狙って、サブバンド分割と組み合わせた方式^{6),7)}を提案する。サブバンド分割によって周波数分解された画像は低周波成分に電力が集中している。そこで、電力が集中している低周波成分に対してフラクタル画像符号化を適用する方式について検討する。

3・1 サブバンド分割^{4),5)}

サブバンド分割は、フィルタにより入力画像を周波数成分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。

原画像に対して、まず水平方向(X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、X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に縮小した二つの画像L、Hを作る。次にL、Hに対してそれぞれ垂直方向(Y方向)にLPF、HPFをかけて、合計4つの画像を作る。その4つの画像に対して、今度はY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、周波数成分の異なる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。

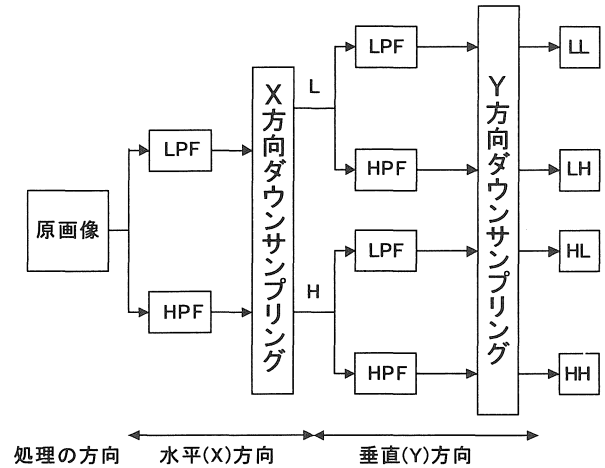


図4 サブバンド分割処理の流れ

3・2 サブバンド分割と組み合わせたフラクタル符号化方式1

3・2・1 方式1の符号化アルゴリズム

図5に提案方式1のフローチャートを示す。まず、入力画像を図6のように4つのサブバンドに分割して、低周波成分LL1とその他の成分に分ける。LL1に対して可変レンジブロックサイズフラクタル符号化を行う。次に、フラクタル復号化をし、フラクタル符号化をする前の低周波成分画像LL1との差分をとり、その差分データに対して量子化とエントロピー符号化を行う。LL1以外のその他のサブバンド画像に対しては、直接、量子化とエントロピー符号化を行う。

復号化では、まずLL1のフラクタル復号化を行った後、差分データを足し合わせてLL1成分画像を再生し、これと復号化されたLL1以外のサブバンド画像とをサブバンド合成して再生画像を得る。

3・2・2 方式1のシミュレーション実験

提案方式1の性能を評価するためにシミュレーション実験を行った。

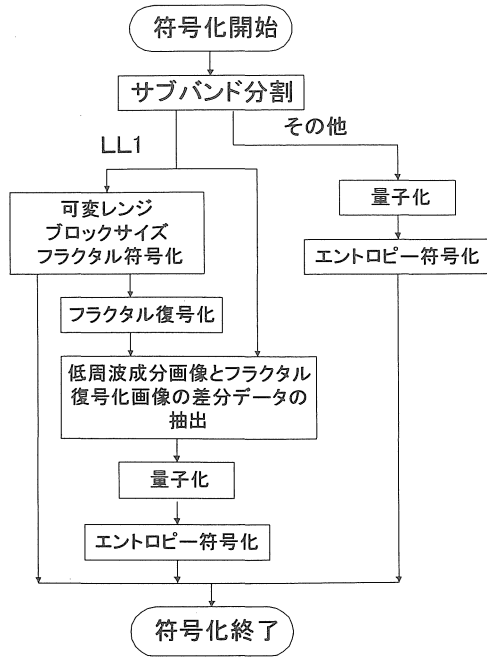


図5 提案方式1フローチャート

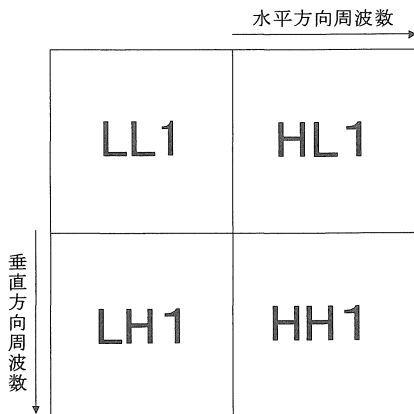


図6 4サブバンド分割

(1) 実験条件

入力画像 : Lenna(512×512) : 8[bit/pe], 図7参照

・フラクタル画像符号化の仕様

レンジブロックサイズ : 8×8, 4×4, 2×2の3段階可変

探索範囲 : 水平、垂直ともに31画素(8×8のとき)

水平、垂直ともに15画素(4×4のとき)

水平、垂直ともに7画素(2×2のとき)

回転・鏡像パターン : 縮小ドメインブロックに対して中心

点を原点にしてそれぞれ 0°, 90°,

180°, 270° 回転させたパターンと

0°, 45°, 90°, 135° 方向の中心軸

に対する鏡像を行ったパターンの計

8つのパターン

レンジブロックの平均輝度値 \bar{R} : ステップサイズ4で量子化

縮小率 a : 0.5, 1.0, 1.5, -1.0

閾値 T_1 : $T_2/10$

閾値 T_2 : 0~100

差分データの量子化ステップサイズ : 2~12

LH1, HL1, HH1の量子化ステップサイズ : 2~14

比較のために、従来方式の変種レンジブロックサイズフラクタル符号化についても実験を行った。実験条件は以下の通りである。

・従来方式可変レンジブロックサイズフラクタル符号化の実験条件

レンジブロックサイズ : 8×8, 4×4, 2×2の3段階可変

探索範囲 : 水平、垂直ともに31画素(8×8のとき)

水平、垂直ともに15画素(4×4のとき)

水平、垂直ともに7画素(2×2のとき)

回転・鏡像パターン : 縮小ドメインブロックに対して中心点を原点にしてそれぞれ 0°, 90°, 180°, 270° 回転させたパターンと 0°, 45°, 90°, 135° 方向の中心軸に対する鏡像を行ったパターンの計8つのパターン

レンジブロックの平均輝度値 \bar{R} : ステップサイズ4で量子化

縮小率 a : 0.5, 1.0, 1.5, -1.0

閾値 T_1 : $T_2/3$

閾値 T_2 : 0~100



図7 Lenna原画像

結果の評価は、1画素当りのビットレートと画質を示すSNR⁵⁾で行う。また、符号化ビットレートはエントロピー⁵⁾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(2)で与えられ

る。

$$H = -\sum_{i=0}^{N-1} P_i \log_2 P_i \quad [\text{bit/pe}] \quad (2)$$

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(5)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。

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} \frac{S_{pp}}{N_{rms}} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

S_{pp} : 255

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

$I \times J$: 総画素数 (本実験では 512×512)

x_{ij} : 原画像の画素値

y_{ij} : 再生画像の画素値

(2) 実験結果と考察

サブバンド分割と組み合わせた方式1の符号化ビットレートとSNRの関係を図8に示す。比較のため従来方式の特性もあわせて示す。図9と図10に再生画像を示す。

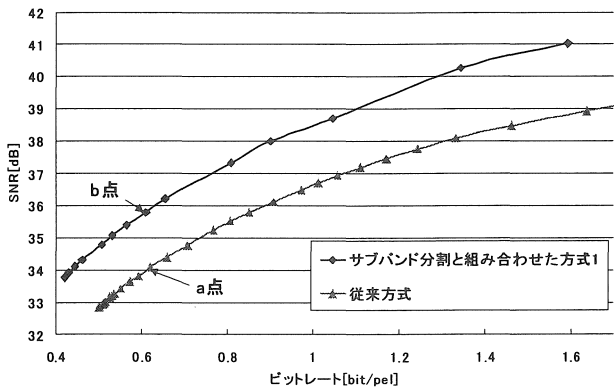


図8 サブバンド分割と組み合わせた方式1と従来方式の比較

図8より、提案方式の方が従来方式と比べて、符号化性能が全体的に約2.0[dB]向上しているのがわかる。実際に再生画像を図9と図10で比較すると、鼻、唇などの部分で提案方式の方が画質がよいことがわかる。全体的に提案方式はブロック歪みがなくなっている。以上の結果よりサブバンド分割と組み合わせた提案方式は符号化性能向上に有効であると言える。



図9 従来方式の再生画像 (図8のa点)

ビットレート : 0.62[bit/pe]
SNR : 34.08[dB]

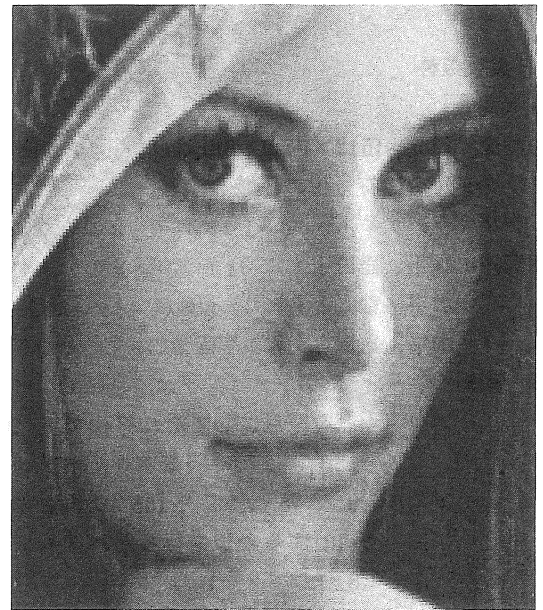


図10 方式1の再生画像 (図8のb点)

ビットレート : 0.61[bit/pe]
SNR : 35.79[dB]

3・3 サブバンド分割と組み合わせたフラクタル符号化方式2

3・3・1 方式2の符号化アルゴリズム

さらなる符号化性能向上を狙って、サブバンド分割を4分割から7分割に増やして符号化する方式を検討する。

図11にフローチャートを示す。アルゴリズムは基本的に3・2の方式1と同じである。まず、入力画像を図12のようにサブバンド分割をする。すなわち、前節のサブバンド分割を組み合わせた方式1におけるLL1をさらに4つにサブバンド分割して、計7つのサブバンド画像に分ける。このうちLL2に対して可変レンジブロックサイズフラクタル符号化を行う。次に、フラクタル復号化をし、フラクタル符号化をする前の低周波成分画像LL2との差分を取り、その差分データに対して量子化・エントロピー符号化を行う。LL2以外のその他のサブバンド画像に対しては、直接、量子化・エントロピー符号化を行う。

復号化では、まずLL2のフラクタル復号化を行った後、差分データを足し合わせてLL2成分画像を再生し、これと復号されたLL2以外のサブバンド画像とをサブバンド合成して再生画像を得る

3・3・2 方式2のシミュレーション実験

提案方式2の性能を評価するためにシミュレーション実験を行った。

(1) 実験条件

- 入力画像 : Lenna(512×512) : 8[bit/pel]、図7参照
- ・フラクタル画像符号化の仕様
- レンジブロックサイズ : 8×8、4×4、2×2の3段階可変
- 探索範囲 : 水平、垂直ともに31画素(8×8のとき)
- 水平、垂直ともに15画素(4×4のとき)
- 水平、垂直ともに7画素(2×2のとき)
- 回転・鏡像パターン : 縮小ドメインブロックに対して中心点を原点にしてそれぞれ0°, 90°, 180°, 270°回転させたパターンと0°, 45°, 90°, 135°方向の中心軸に対する鏡像を行ったパターンの計8つのパターン

レンジブロックの平均輝度値 \bar{R} : ステップサイズ4で量子化

縮小率 a : 0.5、1.0、1.5、-1.0

閾値 T_1 : $T_2/10$

閾値 T_2 : 0~120

差分データの量子化ステップサイズ : 2~12

LH2、HL2、HH2の量子化ステップサイズ : 2~12

LH1、HL1、HH1の量子化ステップサイズ : 2~14

結果の評価は、画像の1画素当りのビットレートと画質を示すSNRで行う

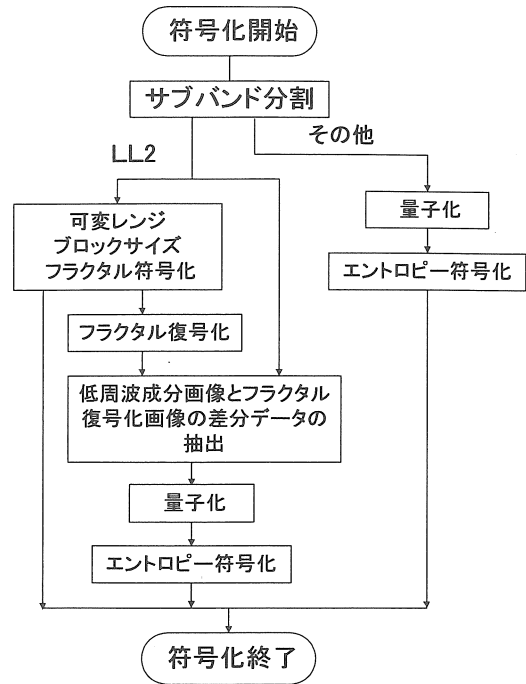


図11 提案方式2のフローチャート

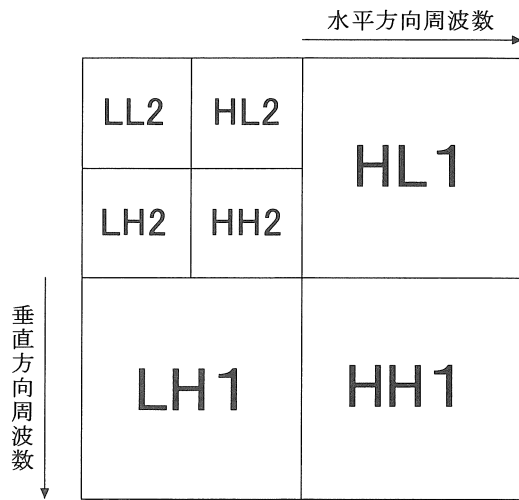


図12 7サブバンド分割

(2) 実験結果と考察

結果を図13に示す。比較のために前節の図8の結果もあわせて示す。再生画像を図14から図16に示す

図13より、7サブバンド分割と組み合わせた方式の方が前節の4サブバンド分割と組み合わせた方式に比べて符号化性能が全体的に約0.5[dB]向上しているのがわかる。実際に再生画像、図14と図15で比較してみると、肌の滑らかさに違いがあり、新しい提案方式2の方が画質が良いことがわかる。このことより、分割数を増やした方が符号化性能向上に有効であると言える。図16はさらに低ピ

ットレート(約 0.3[bit/pe])での再生画像である。顔の肌などで画質が落ちているが、ある程度画質は保たれている。このことより、サブバンド分割と組み合わせた方式 2 は、画質をそれほど低下させることなくビットレート減少させることにも優れていると言える。

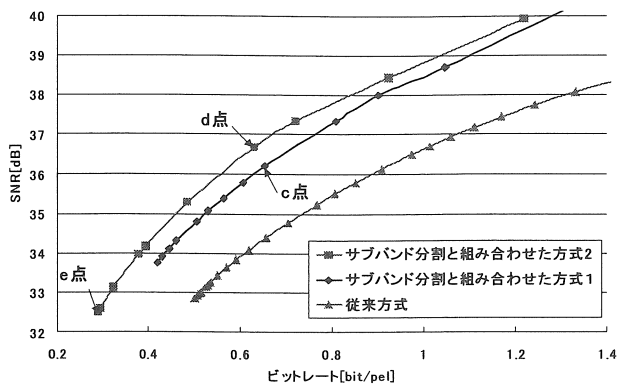


図 1 3 サブバンド分割と組み合わせた方式 1, 方式 2, 従来方式の比較



図 1 4 方式 1 の再生画像
(図 13 の c 点)
ビットレート : 0.65[bit/pe]
SNR : 36.20[dB]



図 1 5 方式 2 の再生画像
(図 13 の d 点)
ビットレート : 0.63[bit/pe]
SNR : 36.69[dB]



図 1 6 方式 2 の再生画像
(図 13 の e 点)
ビットレート : 0.29[bit/pe]
SNR : 32.52[dB]

4. むすび

論文では、サブバンド分割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。提案した方式では、入力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直接、量子化とエントロピー符号化を行っている。まず、4つのサブバンドに分割する方式1について検討した結果、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。さらに、7つのサブバンドに分割して符号化をする方式2についても検討し、4分割の場合の方式1と比べて、符号化性能がさらに向上することを明らかにした。さらに低ビットレートでも方式2では、ある程度画質が保たれており、結果として分割数の増加が符号化性能向上に有効であること、および画質をそれほど低下させることなくビットレート減少させることに優れているとの結論を得た。

今後の課題としては、符号化性能の一層の向上のために、差分データの情報量削減方法、フラクタル画像符号化方法、解像度分割のフィルタ特性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, pp.18-30, Jan.1992.
- 2) M.F.バースレイ, L.P.ハード:「マルチメディアフラクタル画像圧縮」, 株式会社トッパントッパン, 1995-3
- 3) M.ネルソン, J.-L.ゲイリー:「データ圧縮ハンドブック改訂第2版」, 株式会社トッパン, 1996-10
- 4) 藤原 洋:「インターネット時代の数学シリーズ5 マルチメディア情報圧縮」, 共立出版株式会社, 2000-3
- 5) 小野文孝, 渡辺裕:「国際標準画像符号化の基礎技術」, 株式会社コロナ社, 1998-3
- 6) 永井 進也, 沢田 克敏:「DCTと組み合わせたフラクタル画像符号化の検討」, 平成12年度 電気関係学会東海支部連合大会, No.691, 2000-9
- 7) 永井 進也, 中村 栄治, 沢田 克敏:「サブバンド分割と組み合わせたフラクタル画像符号化」, 電気情報通信学会 2001年度総合大会, D-11-2, 2001-3

(受理 平成13年3月19日)