

フラクタル画像符号化における 可変形状領域分割の有効性

大隅謙一

森川良孝

山根延元

岡山大学 工学部

700-8530 岡山市津島中 3-1-1

Phone. 086-251-8128

E-mail. oosumi@trans.cne.okayama-u.ac.jp

あらまし 本稿では、フラクタル画像符号化における可変形状領域分割法の有効性を検討する。フラクタル符号化のブロック分割法として、従来、四分木分割法を用いていた。この手法は符号化後の誤差が大きなレンジブロックに対して、そのブロックをサブブロックに分割して画質の向上を図っている。しかしレンジブロックの個数が増大して符号量が増加するため、必ずしもレート-歪み特性が向上するものではなかった。そこで先の論文では、レンジブロックを構成する画素の個数は概略一定のままで、ブロックの辺を局所的なエッジに沿うように適応的に制御する可変形状領域分割を新しくフラクタル符号化に導入し、有効であることを実験的に示した。本稿では可変形状領域分割により、レート-歪み特性が改善した理由を調べるためにブロックの方向分布とレンジブロック数の関係を比較し、可変形状領域分割の有効性を考察する。

キーワード フラクタル画像符号化, 可変形状領域分割, 四分木分割法

Effectiveness of Variable Shape Partitioning in Fractal Image Coding

Kennichi OSUMI

Yoshitaka MORIKAWA

Nobumoto YAMANE

Faculty of Engineering, OKAYAMA University

3-1-1 Tsushima-naka, Okayama-shi 700-8530, Japan

Phone. (+81)86-251-8128

E-mail. oosumi@trans.cne.okayama-u.ac.jp

Abstract This paper discusses effectiveness of variable shape partitioning method in fractal image coding. The quad-tree partitioning method was so far used as image partitioning of fractal image coding. In this method, we divide detail region into sub-blocks to improve quality of reconstructed image. However, since the number of range blocks increases, the rate-distortion characteristics are not necessarily improved. In the previous paper, the authors first introduced a partitioning method in which we control blocks such that their sides stand parallel to local directions and the number of pixels in block remains constant, and show experimentally that rate-distortion characteristics of our method outperforms and the quality of reconstruction. In this paper, we make a comparison of distribution of blocks in respect of active directions and the number of range blocks to justify that our method outperforms.

key words fractal image coding, variable shape partitioning, quad-tree partitioning

1. まえがき

近年、画像情報を用いた通信がネットワークユーザ間でよく用いられている。しかし、画像情報は情報量が多いため、実時間性を確保するには圧縮技術が必要不可欠である。現在、画像情報の圧縮はJPEGに基づいて行っているが、ネットワーク利用者の増加に伴って、更なる高圧縮を可能とする技術の開発が望まれる。本論文で扱うフラクタル画像符号化法は、高圧縮を実現する次世代の技術として注目を浴びている。

フラクタル画像符号化法は、Barnsleyら^[1]が提案したもので、画像に内在している自己相似性に着目し、少ない個数の相似パラメータを符号化する方法である。符号化は、画像全体をレンジブロックと呼ばれるブロック(通常は小さな正方形ブロック)に分割したブロックの集合とドメインブロックと呼ばれるブロックに分割したブロックの集合を用意し、全てのレンジブロックに対して縮小アフィン変換を行ったときに最も当該レンジブロックを近似するドメインブロックの位置とアフィン変換のパラメータ(以下、Iterated Function System; IFSパラメータという)を符号化する。復号化では、適当な初期画像に対して、関連付けドメインブロックをアフィン変換して各レンジブロックを書き換え、この操作を有限回繰り返すことにより画像を復元する。このように任意画像から出発して復元が可能であるのはコラージュの定理^[2]によるが、圧縮が達成されるのは少ないIFSパラメータにより実画像が記述できるという経験に基づいている。

以上に述べた符号化では画像の符号化レートは小さくなるものの、必ずしも満足できる復元画像品質を提供しない。そこでアフィン変換後の誤差が大きいレンジブロックでは、それを四分分割して近似誤差を小さくする方法が用いられるようになった。この方法は四分木分割法と呼ばれている^[3]。しかし、この方法は、IFSパラメータの個数が増加するため、必ずしもレート歪み特性の上で改善がなされたわけではなかった。

筆者らはフラクタル画像符号化のレンジブロック分割法として、DCT法で成功を取めた可変形状領域分割法^[6]を新しく導入した。本提案法は、レンジブロックの面積は概略一定のまま、レンジブロックの長辺が画像の局所的なエッジに平行になるように分割を制御する。画像を被覆するために、レンジブロックの形状を、面積の等しい平行四辺形、長方形、正方形及びほぼ半分の面積の三角形に制限する。また、各レンジブロックに応じて、ドメインブロックにアフィン変換を施した後、当該レンジブロックと形状を合わせ、近似を行う。本手法は、四分木分割法と異なって、レンジブロックの面積を概略一定にしているため、レンジブロックの総数は増加せず、従ってIFSパラメータの個数も増加しないため、レートの増加なしに近似誤差を小さくできるという長所を持っている。

本論文では本提案法の有効性の確認を行うため、原画像と再生画像のブロック内信号の方向分布を調べる

ことにより、画像中の斜めエッジ部分の再現性能が向上していることを示す。

以下、2.では一般的なフラクタル符号化について述べる。そして、3.で四分木分割法を説明し、4.で可変形状領域分割を用いたフラクタル符号化法を説明する。5.では、両手法のシミュレーション実験を行ってレート歪み特性を比較し、6.で本手法の有効な理由をブロックの方向分布という観点から考察する。

2. フラクタル画像圧縮

本章では、フラクタル画像符号化の基本操作を述べる。

2.1 符号化手順

画像符号化は以下の手順で行う。

- I. 入力画像全体を互いに重なり合わない $N_r \times N_r$ 画素のブロックに分割して、それらのブロックをレンジブロックとする。
- II. レンジブロックとは別に入力画像を $N_d \times N_d$ 画素のブロックに分割して、それらのブロックをドメインブロックとする。ただし、 $N_r < N_d$ (コラージュの定理による^[2])。
- III. それぞれのドメインブロックに次式のアフィン変換を施し、縮小ドメインブロックを作る(図1参照)。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Sm \cos \theta & S \sin \theta & 0 \\ -Sm \sin \theta & S \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ f \end{bmatrix},$$

$$S = N_r/N_d, \quad \theta = 0, \pm \frac{\pi}{2}, \pi, \quad m = \pm 1.$$

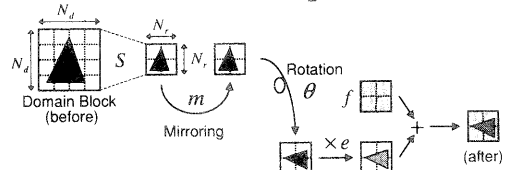


図1: アフィン変換の概略図

ここで、 x 及び y はそれぞれ変換前のブロック内の X 及び Y 方向位置を表し、 b はその輝度値を表す。 $[x', y', b']^T$ はアフィン変換後の位置と輝度値を表す。この変換は、まず、ドメインブロックを縮小率 S で縮小しレンジブロックと同じサイズにした後、 m で鏡像反転をし、角度 θ で回転する。さらにブロック内の輝度値をそれぞれ e 倍し、 f を加える。以下では e 及び f をそれぞれスケール係数及びオフセットと呼ぶ。ここでは計算の煩わしさから、 S を $\frac{1}{2}$ に、 θ を $0, \pm \frac{\pi}{2}, \pi$ に制限する。

- IV. 次にレンジブロックに対し、全ての縮小ドメインブロックの中で平均二乗誤差 (MSE) が最小となるドメインブロックを探索する(図2参照)。
- V. 探索したドメインブロックの位置と、アフィン変換情報 (θ, m, e, f) を符号化する。
- VI. (III)~(V) の作業をすべてのレンジブロックに対して行う。

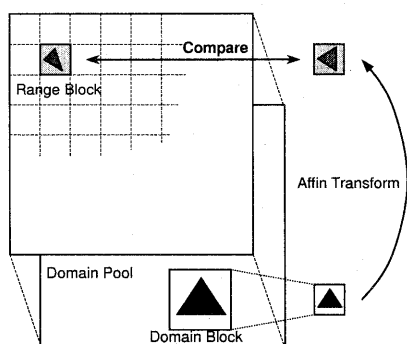


図 2: フラクタル符号化の概略図

このように各レンジブロック内の輝度値を、対応するドメインブロックの位置とアフィン変換のパラメータ (IFS パラメータ) に符号化することで、画像を圧縮する。

2.2 復号化手順

IFS パラメータから再生画像を得るには次のような手順を踏む。まず、任意のグレイスケールの画像を初期画像とする。次に初期画像を符号化時と同じようにレンジブロックとドメインブロックに分割し、そして、各レンジブロックに対応する IFS パラメータを用いてドメインブロックを取り出し、アフィン変換を施したもので、レンジブロックを書き換える。すべてのレンジブロックを書き換えた画像全体を新たな初期画像として、この作業を有限回繰り返すことにより復号画像を得る。なお、このようにして復号化が可能なのはコラージュの定理 [2] による。

3. 従来法

レンジブロックサイズが固定の符号化法では、2. で述べたように、レンジブロックと適合したドメインブロックの誤差 (MSE) がどんなに大きくても、ドメインブロックの集合の中で一番誤差が少なければ、当該ブロックをそのドメインブロックを用いて符号化する。そのため、近似の良いブロックが存在する。この難点を克服するために、四分木分割法を用いる手法が提案されている [3]。以下にその手順を説明する。

3.1 四分木分割法を用いたフラクタル符号化

四分木分割—フラクタル符号化の手順を述べる。

- 始めに 2.1 で説明したようなドメイン探索を行う。
- 適合したドメインブロックとレンジブロックの MSE を求め、MSE が前もって与えた閾値未満なら、このレンジブロックを IFS パラメータで符号化し、閾値以上ならこのレンジブロックを 4 分割する。
- 分割後のレンジブロックに対してドメイン探索を行い、手順 B の操作を行う。ブロック分割が決めた最小のサイズになれば MSE が大きくても、そこで分割を停止する。
- 手順 A~C をすべてのレンジブロックに対して行う。

E. 最後に分割の木構造を符号化する。各階層で終端のレンジブロックには 1 の符号語を、再分割されるブロックには 0 の符号語を付加する。

4. 可変形状領域分割によるフラクタル符号化

3. で述べた四分木分割法では、レンジブロックの数を増やして画質改善を図っているが、レンジブロックの数を増やすと情報量が増加してしまうので、必ずしもレート—歪み特性が改善されるものではない。また、ブロック状の歪みも生じる。そこで本章では、レンジブロックの個数を増やさずに画質を向上させるため、ブロックの辺が画像の局所的なエッジに沿うような分割を行う可変形状領域分割を用いる方法を説明する。

4.1 可変形状領域分割

エッジ方向に沿ったブロック分割を行う手順を述べる。まず、画像全体を正方ブロックに分割し、そのブロックに対して方向検出を行う。そして、図 3 に示した方向性カテゴリを用いて、そのブロックを分類する。また、同時に方向強度を調べるが、ある閾値より強度が小さい場合は方向性を 0 とする。

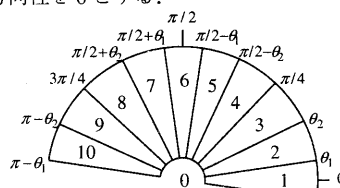


図 3: ブロック分割における方向性カテゴリ

$$(\theta_1 = 0.05\pi, \theta_2 = 0.15\pi)$$

図 4 に本提案法で用いる正方形、長方形及び平行四辺形と三角形のブロック形状を示す。添え字はブロックの分割形状に対応する。これらの形状への再分割は以下のように行う。まず、全てのブロックを正方ブロックにする。次に当該ブロックと隣接ブロックの方向情報に応じて、ブロックの分割・統合を繰り返し最終的な分割ブロックを得る。この再分割は、送り側と受け側で正方分割ブロックの方向性を用いて行うことができる [4]。

4.2 フラクタル符号化への適用

ここでは、可変形状領域分割を行ったレンジブロックに、フラクタル符号化を適用する方法を述べる。レンジブロックに対しては前節で述べた可変形状領域分割を行うが、ドメインブロックにはこの操作は行わず、正方ブロックのままにしておく。そのためドメイン探索時にレンジブロックの形状に合わせてドメインブロックに次のようなアフィン変換を施す。

形状ごとのドメインブロックのアフィン変換を図 5 と表 1 に示し、以下に説明する。レンジブロックが正方形 (B_0) の場合、原画像からレンジブロックの 4 倍の面積の正方形ドメインブロックを取り出し、その正方形ドメインブロックを X 方向に $\frac{1}{2}$ 、 Y 方向に $\frac{1}{2}$ 縮小し、回転、鏡像反転の変換を行った後、レンジブロックと比較する。次

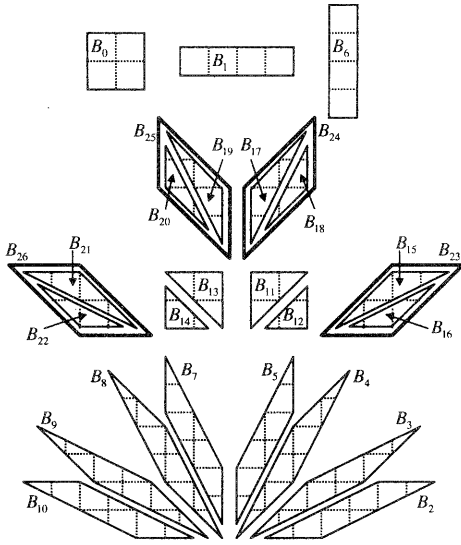


図 4: ブロック形状

にレンジブロックが平行四辺形 ($B_{2-5}, B_{7-10}, B_{23-26}$) の場合、正方形と同様に正方形ドメインブロックを取り出し、 X, Y 方向にそれぞれ $\frac{1}{2}$ 縮小し、回転、鏡像反転の変換を行った後、傾斜変形を施し、レンジブロックと比較する。三角形 (B_{11-22}) の場合は正方形ドメインブロックを X, Y 方向に $\frac{1}{2}$ 縮小し、回転、鏡像反転の変換を行った後、その三角形を含む四角形ブロックと同じように傾斜変形を施し、対象部分だけをレンジブロックと比較する。また、レンジブロックが長方形 (B_1, B_6) の場合は上述のブロックとは違い、原画像から正方形ドメインブロックを取り出し、回転、鏡像反転の変換を行った後、サイズを X, Y 方向のどちらか一方だけ $\frac{1}{4}$ に縮小し、レンジブロックと比較する。このようにして、ドメインブロックをレンジブロックと同じ形状に変形したドメインブロックの中で、ドメイン探索を行う。

この可変形状領域分割は以下の長所を有している。まず、1つのドメインブロックで27種類のレンジブロックを表現できるので、当該ブロックをよく近似する頻度が増加する(これによるパラメータの増加は微小である)。また、エッジを包み込むように、可変形状ブロックを構成することができるため、従来のフラクタル画像符号化で生じていた視覚的に目立つエッジ付近のブロック歪みを抑えることができる。

表 1: RB の形状と DB のアフィン変換

RB の形状	DB の操作	
	面積縮小	形状変形
正方形	x, y 方向に $\frac{1}{2}$	なし
平行四辺形	x, y 方向に $\frac{1}{2}$	傾斜変形
三角形	x, y 方向に $\frac{1}{2}$	対称部分だけ比較
長方形	一方向に $\frac{1}{4}$	なし

これに加えて、回転、鏡像反転の処理を行う

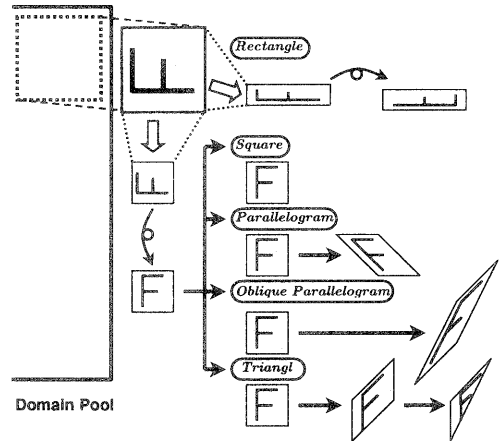


図 5: ドメインブロックのアフィン変換例

5. 符号化シミュレーション

本章では、可変形状領域分割の符号化特性を評価するためにシミュレーション実験の結果を示す。

5.1 実験条件

本実験で用いた画像は 512×512 画素、8ビットモノクローム画像の標準画像“Lena”と ISO-CCITT 標準画像“Boats”である。多くのサイズのブロックで画像を被覆するために中心の 480×480 画素を切り出した画像を用いた。以下に実験条件を示す。

- 信号対雑音比 [PSNR]

PSNR は次式のように定義する。

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\text{平均二乗誤差 (MSE)}} [\text{dB}]$$

- IFS パラメータの symbol 数

IFS パラメータは、表 2 の示すように分解した。ただし、ドメインブロックは画像全体を均等に選択できるように位置を決めている。対称性はブロックの 90 度ごとの回転 ($0, \pm \frac{\pi}{2}, \pi$) と鏡像反転を組み合わせたものである。

表 2: 各パラメータに割振られる symbol 数

	symbol 数	
ドメインブロックの位置	x	2^4
	y	2^4
対称性	2^3	
スケーリング係数	2^8	
オフセット	2^8	

- 符号化レート

符号化レートは、上述のように表現された系列を符号化するのに要した情報量を算出し、その総和を全画素数で割って 1 画素当りに換算したものである。

- シェードブロック

ブロック信号の分散がある閾値より小さいブロックはシェードブロックとしてオフセット情報のみを符号化する。

- 平均値分離

ドメインブロックの平均値情報の冗長性を減らすため、縮小ドメインブロックとレンジブロックを比較するときは、あらかじめドメインブロックの画素値からそのドメインブロックの平均値を引いている。

- 四分木分割

レンジブロックサイズは $32 \times 32, 16 \times 16, 8 \times 8, 4 \times 4$ 画素の4階層とし、ドメインブロックはレンジブロックの4倍の面積とする。また、ブロックを再分割する閾値は、シェードブロック(平均値のみを符号化するブロック)を割り当てるときの閾値と等しくして、その閾値を変化させる。

- 可変形状領域分割

ブロック画像の方向検出は Bjøntegaard 法^[5]を用いる。方向強度が小さい場合にそのブロックの方向性を0とする場合の閾値は、DCT符号化実験^[6]により求めた値を用いた。また、初期レンジブロックのサイズを $24 \times 24, 16 \times 16, 12 \times 12, 8 \times 8, 6 \times 6, 4 \times 4$ と変化させた。ドメインブロックはレンジブロックの4倍の面積で、均等に画像全体を覆うようになっている。

5.2 実験結果

レート-歪み特性を図6, 7に示す。●は可変形状領域分割、△は四分木分割の結果である。それぞれ上述した閾値をブロック間のPSNRを2[dB]毎に変化している。実線は提案法の閾値のトレードオフをとったものである。この結果を見ると提案法が従来法に比べて0.5[bit/pel]付近で1.1[dB]程度符号化特性が向上していることがわかる。提案法は、画像ブロックの方向に沿ってブロック分割を行った結果エッジ付近の歪みを軽減し、復元画像品質を改善していると推測できる。

6. 可変形状領域分割の有効性

5.の実験より、フラクタル画像符号化に可変形状領域分割を適用することが有効であることがわかった。本章では可変形状領域分割法がなぜ、有効であるかを考察する。

6.1 正方ブロックの方向分布

再生画像のブロック画像の方向分布について考える。このような分布を計測するために以下のような方法をとる。方向の検出は5.1で述べたBjøntegaard法を用いるものとし、 8×8 の正方ブロックに分割したそのブロック画像の方向と方向強度を調べた。但し、方向強度が小さい場合には分布に加えない。また、従来の固定ブロックサイズのフラクタル符号化、四分木分割法、可変形状領域分割法を適用したフラクタル画像符号化によって符号化し、復元された画像のブロックの方向分布も調べた。ここでの符号化条件はそれぞれ、表3,4,5に示すとおりである。また、全ての再生画像の反復回数は20回である。

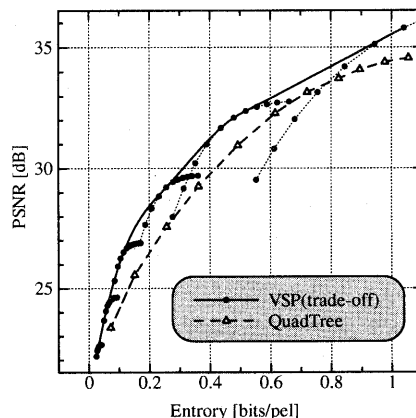


図6: レート-歪み特性 (Boats)

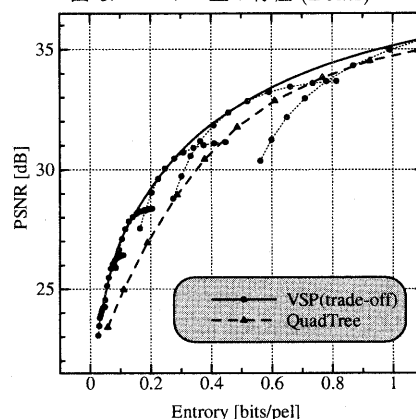


図7: レート-歪み特性 (Lena)

復元画像を正方ブロック (8×8 画素) に分割したときの3つの符号化法のブロック画像の方向分布を図9, 10, 11に示す。また、原画像のブロック画像の方向分布を図8に示す。

図9からわかるように固定ブロックサイズでブロック画像の方向が 90° 毎に集中し、原画像の分布が再現できていない。また、四分木分割法は、 60° 付近の方向がさらに再現でき、全体的に分布は原画像に近づいている。しかし、ブロック分割によりレンジブロック (RB) 数が2倍以上に増えており、符号化レートが増加するため特性の本質的改善はできてない。それらに比べ、可変形状領域分割はレンジブロック数は固定ブロックサイズの1.07倍とさほど増加せず、また 60° 付近の方向や 130° 付近の分布も再現できている。原画像に近づき、レート-歪み特性が改善されていると考えられる。

以上の考察より以下の結論を得ることができる。原型のフラクタル画像符号化法は、計算時間や処理の複雑さからドメインブロックの縮小率を x, y 方向にそれぞれ $1/2$ と固定し、また、対称性のパラメータも 90° ごとと鏡像反転の8種類と制限しているため、再生画像の方向性が水平、垂直方向に集中してしまうという欠陥を

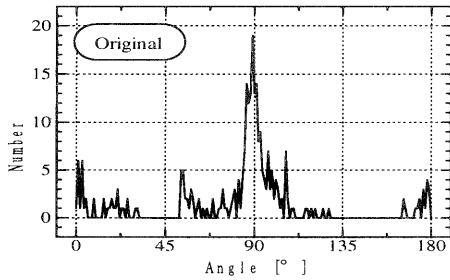


図 8: 原画像の方向分布

表 3: フラクタル画像符号化の条件

レンジブロック (RB) サイズ	8 × 8 画素
ドメインブロックの位置情報	8bits
スケーリング係数	8bits
オフセット	8bits
対象性パラメータ	3bits

表 4: 四分木分割法の条件

初期 RB サイズ	8 × 8 画素
階層	3 階層 (8 × 8, 4 × 4, 2 × 2)
再分割の閾値	28dB

表 5: 可変形状領域分割法の条件

初期 RB サイズ	8 × 8 画素
シェードブロックの閾値	28dB

有している。それに対し四分木分割法は、レンジブロックを小さくすることで擬似的に多くの方向を再生している。しかし、レンジブロック数が増加するので、レート歪み特性の本質的な改善はできていない。しかし、可変形状領域分割法はブロックを傾斜変形することで従来のフラクタル画像符号化では再現できなかった 45° 方向のブロック画像を再現することができ、さらにレンジブロック数の増加が抑えられている。

7. むすび

以上、フラクタル画像符号化に可変形状領域分割を用いる方法を提案し、四分木分割法と比較することにより本提案法の有効性を示した。また、両者の再生画像中のブロック画像の方向分布を調べることにより、可変形状領域分割がフラクタル画像符号化に有効である理由として、以下の推論を得た。

従来、符号化時間や処理の複雑性から状態数を制限している対称性パラメータにより、水平、垂直方向以外の方向を持ったブロック画像が再現し難くなっている。

可変形状領域分割は、ブロック画像の方向性に合った分割が可能である。レンジブロックの方向性に適した近似ブロックが生成されるのでフラクタル画像符号化に有効である。

可変形状領域分割はレンジブロックの面積を概略一定にしているため、四分木分割法との併用により、さらなる符号化特性の改善が期待できる。このような最適化を行うことが今後の課題であろう。

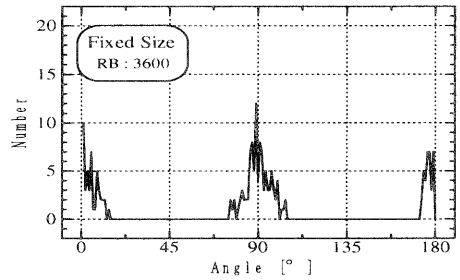


図 9: 復元画像の方向分布 (固定ブロックサイズ)

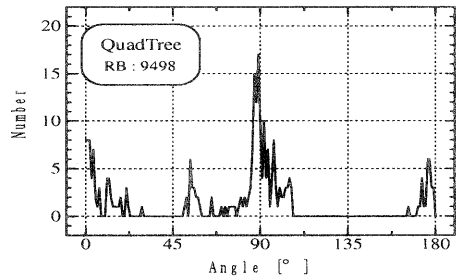


図 10: 復元画像の方向分布 (四分木分割法)

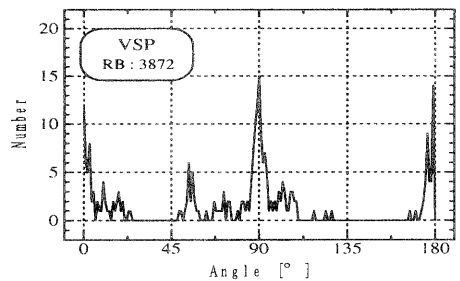


図 11: 方向性の分布 (可変形状領域分割法)

参考文献

- [1] M.F.Barnsley, L.P.Hurd, (蔡東生, 江守正多訳), “マルチメディア・フラクタル画像圧縮”, 株式会社凸版, 1995.
- [2] N. Lu, “Fractal Imaging”, Academic Press, New York, 1997.
- [3] Y.Fisher, “Fractal Image Compression - Theory and Application”, Springer-Verlag, New York, 1995.
- [4] 大隅, 森川, 山根, “可変形状領域分割を用いたフラクタル画像符号化”, 電子情報通信学会技術研究報告 CS99-126, IE99-106(1999-12).
- [5] G.Bjøntegarrd, “A Nobel Method for Compressing Images Using Discrete Directional Transforms”, SPIE Vol.1001 Visual Communications and Image Processing'88, p840-846.
- [6] 山根, 森川, 成相, 鶴原, “斜行軸上の DCT による画像の高効率符号化”, 信学論 (B-I), Vol.J81-B-I, no.2, pp110-117, Feb.1998.