

フラクタル画像符号化におけるフラット／ノンフラットブロック閾値の設計

山崎修治*, 徳山英明**, 胡曉丹*, 藤村誠**, 前村葉子***, 黒田英夫*

長崎大学大学院 生産科学研究科*, 長崎大学工学部**, 県立長崎シーボルト大学***

〒 852-8521 長崎市文教町 1-14
095-847-1111
shu@cis.nagasaki-u.ac.jp

あらまし フラクタル画像符号化では、レンジブロックを最も類似したドメインブロックで近似するため、どのドメインブロックで近似するかによって復号画像の品質が左右される。本論文では、復号画像の高品質化を目指して、各ブロックにおけるフラット／ノンフラットブロックの判定閾値を用いた符号化制御の設計法を提案する。本設計法により、フラットレンジブロック判定閾値と高品質の復号画像を得るときのフラットドメインブロック判定閾値は比例関係を示し、その近似誤差が最大 0.15dB の範囲であることから、ブロック閾値による符号化制御の設計が有効であることを示す。

和文キーワード フラクタル、画像符号化

A Plan of Flat/Non-flat Block Threshold for Fractal Image Coding

Shuji YAMASAKI*, Hideaki TOKUYAMA**, Xiaotong HU*, Makoto FUJIMURA**,
Yoko MAEMURA*** and Hideo KURODA*

Graduate School of Science and Technology*, Faculty of Engineering, Nagasaki University**,
Siebold University of Nagasaki***

1-14 Bunkyo-machi Nagasaki-shi, 852-8521 Japan
+81-95-847-1111(EXT.2752)
shu@cis.nagasaki-u.ac.jp

Abstract For fractal image coding, range block approximated by the best matching domain block. So the quality of reconstructed image will be influenced by which domain block is set as the best matching domain block. In this paper, we propose the method that using threshold value of flat block, to attain high quality of reconstructed image. As a result of a simulation experiment, the relations between threshold value for flat range block and threshold value for the flat domain block which obtains high quality reconstructed image is expressed by proportionality relation, and the approximation error is suppressed within 0.15dB. As a result the affectivity of the proposed method using these threshold value is shown.

英文 key words Fractal, Image Coding

1 まえがき

フラクタル画像符号化は画像の自己相似性を利用した手法であり、高解像度、高圧縮が可能な符号化方式として様々な研究がなされている。フラクタル画像符号化では、ノンフラットレンジブロックの近似写像の候補となるノンフラットドメインブロックを次に示す3つの判定閾値により選出する。

1. レンジブロックの標準偏差によるフラットレンジブロック判定閾値 T_r
2. ドメインブロックの標準偏差によるフラットドメインブロック判定閾値 T_d
3. スケーリングファクター S の値による閾値 T_s

これらの判定閾値は復号画像の画品質を左右する一つの要因であり、従来法では手動で設定していた。そこで本論文では、フラットレンジブロック判定閾値から最適なフラットドメインブロック判定閾値を求める関係式を導出し、最適な符号化特性を得るための閾値設計の自動化を図る。また、ドメインブロックの探索方法に関わらず、この設計法が有効であることを確認する。

2 フラクタル画像符号化の基本処理

フラクタル画像符号化の基本的な処理過程について説明する。符号化処理を図1に示す。原画像を重ねならない $R \times R$ 画素の単位ブロックに分割する。この単位ブロックのことをレンジブロックと呼ぶ。次に、原画像から $D \times D (D > R)$ 画素のドメインブロックと呼ばれるブロックを抽出し、ドメインプールに登録する。そして、登録されたドメインプールの中から最も似たドメインブロック(最適ドメインブロック)を選択し、各レンジブロック毎に近似する。

符号化処理では、レンジブロックの標準偏差を計算し、標準偏差が小さいレンジブロックはフラットレンジブロックに分類され、最適ドメインブロックの探索を行わずに復号時にはブロックの平均値のみで近似する。この判定閾値をフラットレンジブロック判定閾値 (T_r) と呼ぶ。また、標準偏差が大きいレンジブロックはノンフラットレンジブロックに分類される。ドメインブロックについては、フラットドメインブロック判定閾値によりドメインブロック群からノンフラットドメインブロックを選びドメインプールを生成する。そして、各ノンフラットレンジブロックに対して、ドメインプールの中から最適ドメインブロックを探索する。最適ドメインブロックの探索は、式(1)のような評価関数を使用し、各

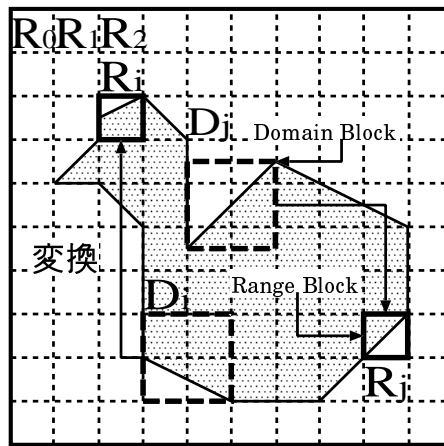


図1 フラクタル画像符号化の符号化処理

レンジブロックに対する最適ドメインブロックを選択する。

$$\delta = S_r \times \sqrt{\frac{1}{n^2} \times \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \{\tau d_{ij} - r_{ij}\}^2} \quad (1)$$

- S_r : レンジブロックの標準偏差
- n : ブロックサイズ
- τ : アフィン変換 (8種類)
- i, j : ブロック内での座標
- r_{ij} : 正規化されたレンジブロック (i,j) の画素値
- d_{ij} : 正規化されたドメインブロック (i,j) の画素値

この符号化処理により、画像データをノンフラットレンジブロックの画素値の平均値・標準偏差、最適ドメインブロックの位置・アフィン変換情報に変換し、復号側に伝送する。

復号化処理では、受信したレンジブロックの画素値の平均値のみを用いて生成した平均値画像を初期画像として、次の復号化処理を繰り返し行なうことで画像の解像度を上げ、十分な解像度の画像を得られるか、又は、画像の変化が収束するまで行なう。

1. 最適ドメインブロックの位置情報をもとに、画像からドメインブロックを抽出する。
2. 抽出したドメインブロックをレンジブロックサイズに縮小し、アフィン変換情報を付加する。
3. レンジブロックとドメインブロックに対する平均値 $M(r), M(d)$ と標準偏差 $S(r), S(d)$ 、及び変換されたドメインブロックの画素値 $d_{(i,j)}$ を用いて、レンジブロックの画素値 $\widehat{r_{(i,j)}}$ を更新する。

$$\widehat{r_{(i,j)}} = \{d_{(i,j)} - M(d)\} \times \frac{S_r}{S_d} + M(r) \quad (2)$$

3 ブロック判定閾値と SNR の関係

3.1 判定閾値について

フラクタル画像符号化において、符号化・復号化処理における判定閾値を説明する。

3.1.1 フラットレンジブロック判定閾値 (T_r)

レンジブロックの標準偏差 (S_r) が指定閾値 (T_r) より小さければフラットレンジブロックと判定され、復号時にはブロックの平均値のみで近似される。一方、 T_r 以上ならばノンフラットレンジブロックと判定され、フラクタル画像符号化によって最適ドメインブロックが探索され、それにより近似される。

3.1.2 フラットドメインブロック判定閾値 (T_d)

ドメインブロックの標準偏差 (S_d) が指定閾値 (T_d) より小さければフラットドメインブロックと判定し、 T_d 以上ならばノンフラットドメインブロックと判定する。ノンフラットドメインブロックのみが最適ドメインブロックの探索対象となる。

3.1.3 スケーリングファクター閾値 (T_s)

レンジブロックとそれを近似するドメインブロックとの間には、空間的縮小性だけでなく、画素値方向での縮小性も満たす必要がある。具体的に画素値方向での縮小性を成立するためには、スケーリングファクターの値

$$S = S_r/S_d \quad (3)$$

が、 $0 \leq S \leq 1$ である必要がある。この理由は S の値が 1 より大きい場合には、復号途中の画像に含まれる誤差がレンジブロックを最適ドメインブロックで近似する処理によって拡大されてしまうからである。しかし、 S が 1 以下とすると、探索範囲が狭すぎて類似ドメインブロックで近似できない場合がある。そこで、 S の上限値をより上げることで、復号誤差がでてくるが探索範囲が拡大するために、類似ドメインブロックで近似することが可能となる。

3.2 実験条件

テスト画像として Claire, FootBall, Lenna, Miss America, Salesman の 5 種類を使用した。これらの画像は、グレイスケール 256 階調であり、画像サイズは、Lenna が 256×256 画素、その他の画像は、 352×288 画素である。符号化条件の設定は次のようにした。レンジブロックのサイズを 4×4 画素、ドメインブロックのサイズを 8×8 画素、ドメ

インブロック抽出間隔を縦横 4 画素ずつ、レンジブロックの平均値及び標準偏差の量子化幅は 1.0 である。本論文では全探索法の他に、モーメント法 [2]、パターンインデックス法 [3] の高速探索法をあわせた 3 種類のドメインブロック探索法で実験を行なった。

3.3 T_s が一定条件での T_d と SNR の関係

T_s の制限なし ($T_s: ALL$) の条件で、 T_r を変化させた時の T_d と SNR の特性について調べた。実験結果はテスト画像の中から代表として、Lenna のみの結果を示している。全探索法での特性を図 2 に、モーメント法での特性を図 3 に、パターンインデックス法での特性を図 4 に示す。これらの結果から、ドメインブロックの探索法によらず、 T_r を変化すると、 SNR が最大となる $T_d(T_{dmax})$ は変化する。この原因について、 T_{dmax} に注目して考察する。 $T_d > T_{dmax}$ の範囲では、ドメインプールの登録ドメインブロック数が減少した影響によるものであると考えられる。 $T_d < T_{dmax}$ の範囲では、主に、スケーリングファクター S の影響によるものだと考えられる。これは、レンジブロックの標準偏差 S_r が T_r 以上である条件にも関わらず、最適ドメインブロックの標準偏差 S_d が極端に小さいとき ($S_r \gg S_d$) に S の値が非常に大きい値となり、結果として復号誤差を生じるためである。従って、 T_r を高くすると、それに応じて T_d も大きく設定する必要がある。つまり、探索に使用するドメインブロックの制限次第で、十分な SNR をもつ復号画像を得ることができるといえる。

3.4 T_r が一定条件での T_d と SNR の関係

$T_r = 4.0$ の一定条件の下で、 T_s を変化させたときの T_d と SNR の特性について調べた。ここで、 $T_s = ALL$ は、 T_s を設定せず全てのドメインブロックを最適ドメインブロックの探索対象とすることで、 $T_s = 2.2$ 、 $T_s = 1$ についても S の値が 2.2、または、1 以下の場合に探索することである。全探索法での特性を図 5 に、モーメント法での特性を図 6 に、パターンインデックス法での特性を図 7 に示す。これらの結果から、ドメインブロックの探索法によらず、次のことが確認できる。

1. $T_s = 1$ では SNR がほとんど変動しないが、 $T_s = ALL$ では SNR の変動が大きい。
2. 復号画像の SNR の最大値は、 $T_s = 1$ の時より $T_s = ALL$ の時の方が必ず高い。
3. T_r が一定であれば、 T_s が異なっても、 T_{dmax} に大きなばらつきがない。

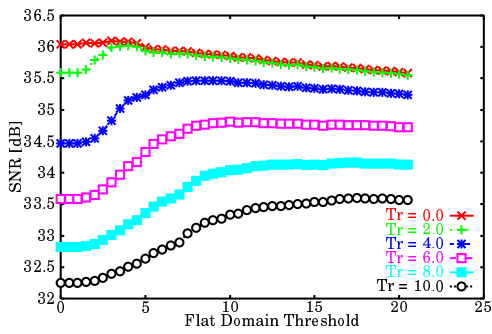


図2 T_s 一定条件下での T_d と復号画像の SNR (Lenna)
—全探索法—

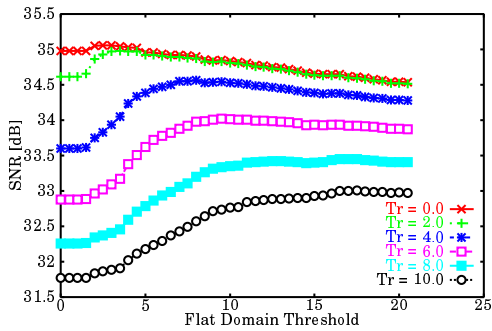


図3 T_s 一定条件下での T_d と復号画像の SNR (Lenna)
—モーメント法—

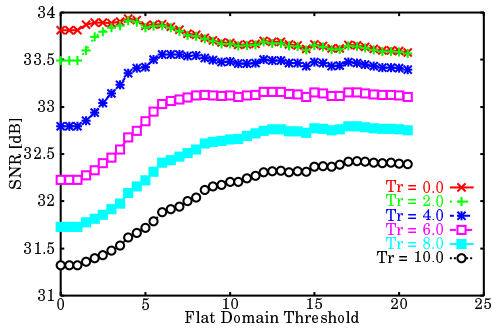


図4 T_s 一定条件下での T_d と復号画像の SNR (Lenna)
—パターンインデックス法—

1の結果について、式(3)で示されたスケールリングファクターを考えると、 $T_s = 1$ の場合、 $S \leq 1$ となるドメインブロックを最適ドメインブロックとして選ぶので復号誤差は小さい。一方、スケールリングファクターが全探索の場合は、全てのドメインブロックを最適ドメインブロックの探索対象とするので、 S の値が大きくなるようなドメインブロックを最適ドメインブロックとして選択したときの復号誤差は大きくなる。しかし、ドメインプールの登録ドメインブロック数は増加するので、最適ドメインブロックの候補が増え、よく似たドメインブロックを選ぶことができる。つまり、 T_d を適切に設定すれば、高品質の復号画像を得ることができる。このことは、2の原因でもあり、 T_s を大きくすることが有効に作用する。3の結果からは、 T_{dmax} は T_s にはほとんど依存せず T_r のみに依存することが分かる。

質の復号画像を得ることができる。このことは、2の原因でもあり、 T_s を大きくすることが有効に作用する。3の結果からは、 T_{dmax} は T_s にはほとんど依存せず T_r のみに依存することが分かる。

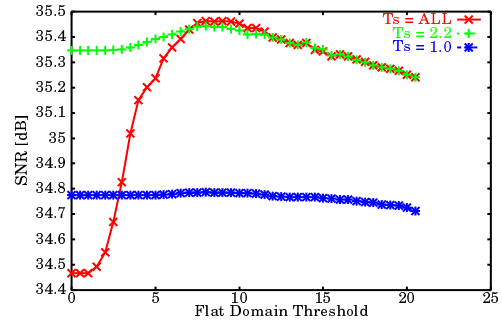


図5 T_r 一定条件下での T_d と復号画像の SNR (Lenna)
—全探索法—

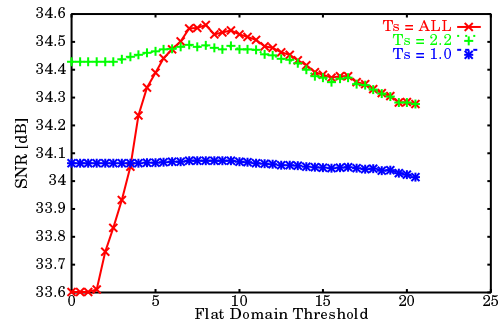


図6 T_r 一定条件下での T_d と復号画像の SNR (Lenna)
—モーメント法—

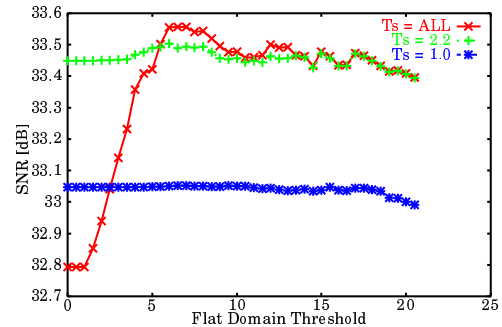


図7 T_r 一定条件下での T_d と復号画像の SNR (Lenna)
—パターンインデックス法—

3.5 T_r と復号画像の SNR が最大となるフラットドメインブロック判定閾値 T_{dmax} の関係

T_r と SNR が最大となるフラットドメインブロック判定閾値 T_{dmax} の特性について各ドメインブロック探索方法において調べた。全探索法を図8に、モーメント法を図9に、パターンインデックス法を図10

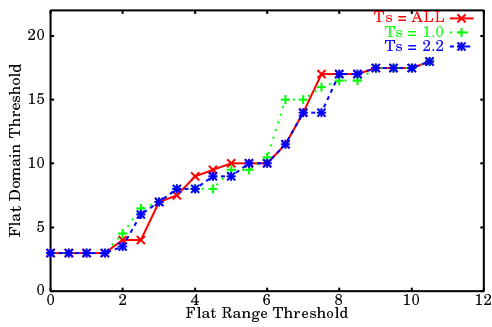


図 8 T_r と T_{dmax} の関係 (Lenna) —全探索法—

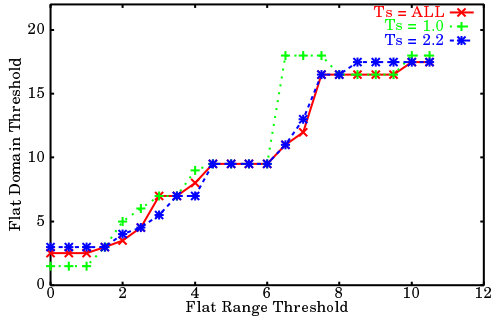


図 9 T_r と T_{dmax} の関係 (Lenna) —モーメント法—

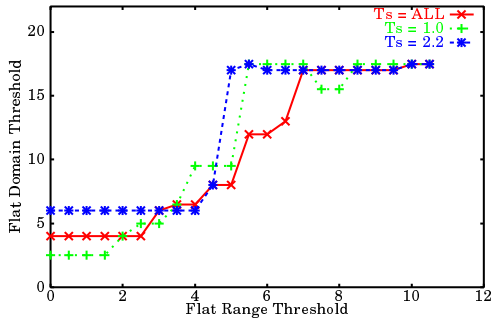


図 10 T_r と T_{dmax} の関係 (Lenna)
—パターンインデックス法—

に示す。これらの結果から、 T_s を変えても同様の特性を示していることが分かった。また、 T_{dmax} の特性はドメインブロック探索法別でそれぞれ違うことが分かった。

4 ブロック判定閾値による設計

提案するフラクタル画像符号化におけるフラット/ノンフラットブロックによる閾値の設計を行なう。実験条件は前章と同一である。設計方法は、 T_s の値に関係なく、 T_r と T_d の関係が同様の特性を示すことから、その近似式を導出する。

5 種類のテスト画像で T_s の値ごとに得られた T_r と T_{dmax} の関係を平均した結果と、その近似直線を図 11 から図 13 に示す。各々の探索法の近似直線

は次の通りである。

- 全探索法

$$T_d = 1.70 \times T_r + 1.75 \quad (4)$$

- モーメント法

$$T_d = 1.65 \times T_r + 1.49 \quad (5)$$

- パターンインデックス法

$$T_d = 1.38 \times T_r + 4.34 \quad (6)$$

これらの近似式を実験により得られた平均値と比較してみると、全探索とモーメント法は十分に近似でき、パターンインデックス法に関しても多少のずれはあるが近似はできることが確認できた。

実際のドメイン探索方法による復号画像の SNR の最大値 (SNR_{max}) と近似式によって得られた SNR との近似誤差を表 1 と表 2 を示す。この結果、近似による誤差が最大 0.15 [dB] の範囲内であるから、近似式による設計によってほとんどの差のない復号画像が得られることが言える。よって、それぞれのドメインブロック探索法で式 (4) から式 (6) を用いて T_r に対応した T_d を自動で設定することができることを示した。

表 1 復号画像の SNR の最大値と提案法による誤差

($T_r = 2.0$)

探索方法	T_s	SNR_{max} [dB]	誤差
全探索法	1	35.084	0.001
	2.2	35.837	0.002
	ALL	36.014	0.067
モーメント法	1	34.313	0.000
	2.2	34.809	0.003
	ALL	34.976	0.050
パターンインデックス法	1	33.220	0.005
	2.2	33.721	0.028
	ALL	33.913	0.150

表 2 復号画像の SNR の最大値と提案法による誤差

($T_r = 6.0$)

探索方法	T_s	SNR_{max} [dB]	誤差
全探索法	1	34.281	0.006
	2.2	34.806	0.007
	ALL	34.812	0.021
モーメント法	1	33.657	0.005
	2.2	33.990	0.012
	ALL	34.024	0.030
パターンインデックス法	1	32.774	0.018
	2.2	33.153	0.031
	ALL	33.160	0.007

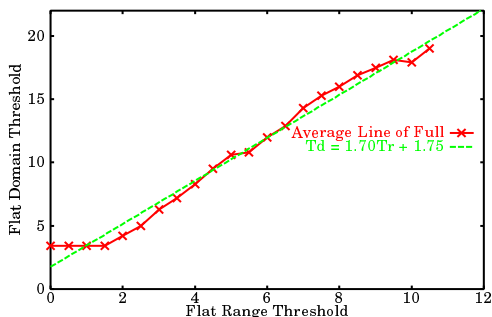


図 11 実験より算出した平均値および近似直線—全探索法—

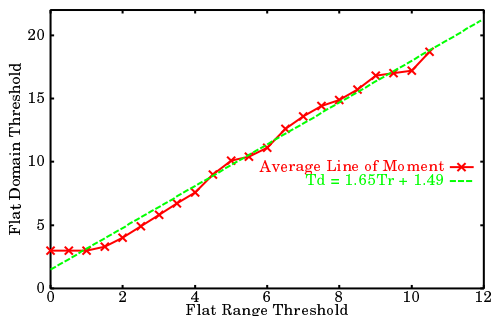


図 12 実験より算出した平均値および近似直線—モーメント法—

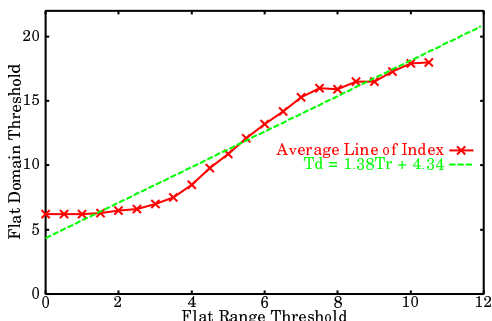


図 13 実験より算出した平均値および近似直線—パターンインデックス法—

5 おわりに

本論文では、フラクタル画像符号化で用いられる各判定閾値に着目して、高品質の復号画像が得られる特性を示す評価関数をドメインブロック探索方法の全探索法・モーメント法・パターンインデックス法

の3種類に対してそれぞれ求めて、符号化制御設計を行なう方法を提案した。スケールリングファクターの閾値が一定条件の下で、フラットドメインブロック判定閾値と復号画像のSNRの特性を解析すると、フラットレンジブロック判定閾値に対して、復号画像のSNRが最大となるフラットドメインブロック判定閾値が変化することが分かった。また、フラットレンジブロック判定閾値を一定条件の下で解析すると、スケールリングファクターの閾値を大きくすると復号誤差が大きくなるが、ドメインブロックの探索数が増えるため、よく似たドメインブロックで近似することが可能であることが確認された。そこで、復号画像のSNRが最大となるフラットドメインブロック判定閾値は、スケールリングファクターの閾値に依らず、フラットレンジブロック判定閾値に依存することを示した。

これらの結果をもとにブロック閾値の設計を行なったところ、フラットレンジブロック判定閾値と復号画像のSNRが最大となるフラットドメインブロック判定閾値の関係は簡単な比例関係を示し、ドメインブロック探索法により閾値の特性を示す関係式を得ることが出来た。これにより、フラットレンジブロック判定閾値を設定することで、ドメインブロック判定閾値を自動的に決定するための符号化制御が可能であることを示した。

今後、ドメインブロックの探索法を問わない閾値の特性の関係式の検討及び画像の特徴を利用することによる符号化制御の設計を行なう方針である。

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, 1992
- [2] Dan C.Popescu, Hong Yan, "MR IMAGE COMPRESSION USING ITERATED FUNCTION SYSTEMS," Magnetic Resonance Imaging, Vol.11, No.5, pp.727-732, 1993
- [3] 今村幸祐, 藤村誠, 黒田英夫 "フラクタル画像符号化におけるパターンインデックスを用いた高速ブロック探索法" 画像電子学会誌, 第28巻第5号, pp576-584, 1999