

フラクタル画像符号化における スケーリングパラメータ計算量削減

原田 雅樹 藤井 俊彰 木本 伊彦 谷本 正幸

名古屋大学大学院工学研究科

〒 464-8603 名古屋市千種区不老町

Tel: 052-789-3163 Fax: 052-789-3628

E-mail: harada@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp

あらまし 現在, JPEG を超える性能を持つ圧縮方式の確立が望まれている. さまざまな方式が研究されている中, 反復関数系 (IFS) に基づくフラクタル画像符号化は, 超低レートで JPEG と比べて視覚的に良好な画像を復元できる圧縮方式として多くの関心が寄せられている. フラクタル画像符号化では, 画像中の自己相似性を利用し, そのパラメータを符号とすることで画像情報の圧縮を行う. 全計算量のうちスケーリングパラメータを求める計算がその大部分を占める. 本稿では, 符号化の高速化を実現するために, レンジブロックとドメインブロックとの最大振幅比を用いてスケーリングパラメータを計算する前に判定を行う手法および分散比によってスケーリングパラメータを近似する手法を提案する. 計算機シミュレーションの結果, 画質の劣化を抑えつつ符号化時間が 30%~50%削減された.

キーワード 画像符号化, フラクタル, IFS, 高速化, 最大振幅比, 分散比

Fast Calculation of Parameters for Fractal Image Coding

Masaki HARADA Toshiaki FUJII Tadahiko KIMOTO Masayuki TANIMOTO

Graduate School of Engineering, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603 JAPAN

Tel: +81-52-789-3163 Fax: +81-52-789-3628

E-mail: harada@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp

Abstract

In the conventional fractal coding schemes, affine transform parameters are calculated. Because the amount of calculation is very large, huge encoding time is required. In this paper, we propose two new fractal image coding schemes to reduce the calculation time. The first one calculation time of parameters, affine transform and rmse by using the maximum amplitude ratio which is a ratio between the maximum amplitude range of range block and that of domain block. This scheme uses a ratio of a variance of range block to that of domain block instead of a scaling parameter. The results of simulations show that the encoding time of the proposed scheme is 30% ~ 50% smaller than that of conventional scheme.

key words

image compression, fractal image coding, IFS, maximum amplitude ratio, variance ratio

1 はじめに

Mandelbrot によって提唱されたフラクタルは、多くの分野で研究されている。画像符号化においては、反復変換符号化^[1, 2]の提案以来、フラクタルを利用した研究が盛んに行われている^[3, 4]。

Jacquin の方式ではレンジブロックを最もよく近似するドメインブロックを探し出し、そのドメインブロックの位置や変換のパラメータを符号とする。その際、各ドメインブロックについてスケーリングパラメータを求め、得られたパラメータ毎に近似誤差を計算する。また、ドメインブロックにはいくつかの幾何変換が施されるため、計算量が非常に多くなり符号化時間が膨大になるという欠点がある。

そこで本稿では、符号化時間の高速化を実現するため、最大振幅比を用いて計算を打ち切る手法およびスケーリングパラメータをレンジブロックとドメインブロックとの分散の比で近似する手法を提案する。これにより、画質の劣化を抑えつつ符号化時間を削減することができることを示す。

2 符号化時間の分析

従来法において、符号化処理は以下のように分類される^[4]。

- 初期化
- ブロックタイプの判定
- SHADEブロックの符号化
- EDGEブロックの符号化
- エントロピー符号化

このうち、符号化のほぼすべての処理時間を占めるのはEDGEブロックの符号化であり、その他の処理に必要な時間は無視できる程度である。さらに、EDGE符号化の処理内容を分類してみると以下ようになる。ただし、ここでは平均値分離の場合を示す。

1. ドメインブロックの切り出しおよび空間縮小。
2. 変換パラメータ（スケーリングパラメータ α ）を求める。

$$\alpha = \frac{\sum rd}{\sum d^2} \quad (1)$$

(2)

3. ドメインブロックにアフィン変換を施す。
4. レンジブロックとドメインブロックとの間の近似誤差を求める。

それぞれの処理時間を図1に示す。EDGE符号化の処理のうち、特にスケーリングパラメータ α の計算に多くの時間が費やされている。また、幾何変換、近似誤差の計算にも多くの時間が費やされている。近似誤差は自乗誤差を計算して求めているため、 α の計算と同様に計算

量を必要としている。一方、幾何変換は画素値の並べかえ処理であり、数値計算そのものは行っていない。

従って、高速な符号化を実現するには α の計算および近似誤差の計算の部分を高速化しなければならない。

表 1: EDGE 符号化関数の処理時間

演算	時間 [s]	割合 [%]
ドメインブロックの切り出し、縮小	0.402	8.3
α の計算	1.745	36.0
幾何変換	1.333	27.5
近似誤差の計算	1.337	27.6
ドメインブロックの修正	0.034	0.7

3 提案法

本稿では、符号化の高速化を実現するために、レンジブロックとドメインブロックとの最大振幅比を用いてスケーリングパラメータを計算する前に判定を行い、計算を打ち切る手法を提案する。この手法により、スケーリングパラメータ、幾何変換、および近似誤差の計算回数が削減される。また、分散比を用いてスケーリングパラメータを近似する手法を提案する。この手法により、スケーリングパラメータの計算時間が削減される。

3.1 最大振幅比を用いた計算打ち切り

レンジブロックを r 、空間縮小後のドメインブロックを d とすると、変換パラメータ α 、 β との関係は

$$r - \mu_r = \alpha(d - \mu_d) \quad (3)$$

$$\beta = \mu_r \quad (4)$$

と表される。ただし、 μ_r 、 μ_d はそれぞれレンジブロックとドメインブロックの平均値である。いま、レンジブロック中およびドメインブロック中の輝度の最大値、最小値をそれぞれ r_{max} 、 r_{min} 、 d_{max} 、 d_{min} とすると、最大振幅比 (Maximum Amplitude Ratio, 以下 MAR) は以下のように定義される。

$$MAR = \frac{(r_{max} - r_{min})}{(d_{max} - d_{min})} \quad (5)$$

もし最適な近似が得られた場合には

$$MAR = \alpha \quad (6)$$

となる。従って、この条件を満たすブロックについてのみスケーリングパラメータの計算を行えば計算量を削減することができる。しかし、実際の近似の際には誤差が生じるため、図1のようにある α に対するMARの分布は広がりを持ち、 α よりも大きな値を持つ場合にも最適なドメインブロックとして選択されている。そこで、式(6)における α の値にある程度余裕をもたせて判定式とする。

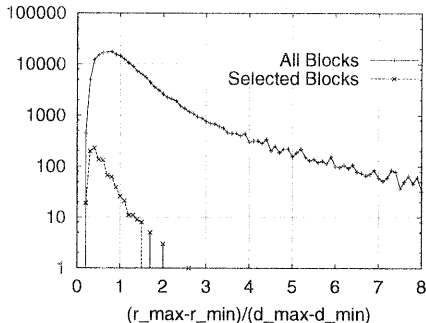


図 1: $\alpha = 0.32$ となるような $(r_{max} - r_{min}) / (d_{max} - d_{min})$ の度数分布 (Lena 256 × 256)

MARを用いて選択される可能性のないブロックの計算を打ち切ることにより、 α の計算、幾何変換、および近似誤差の計算が省かれ、計算量が削減される。

3.2 スケーリングパラメータの近似値計算

式(3)において r の交流成分は ad のみから生成されることを考慮し、それぞれのブロックの分散に着目する。符号化時のレンジブロック及びドメインブロックの分散をそれぞれ V_r, V_d とすると、もし最適な近似が得られた場合には以下の関係が得られる。

$$\sqrt{V_r} = \alpha \sqrt{V_d} \quad (7)$$

そこで、それぞれのブロックの分散の比の平方根(Root Variance Ratio, 以下RVR)を

$$RVR = \sqrt{V_r / V_d} \quad (8)$$

とおく。このとき、分散比RVRとスケーリングパラメータ α との関係は図2のようになり、 α は分散比RVRを上限とし、それ以下に分布していることが確認できる。また、 α は比較的RVRに近いところに分布しており、分散比とスケーリングパラメータの間には相関があると考えられる。ただし、スケーリングパラメータには多少分布に広がりがある。従って、次式のように分散比を定数倍して近似値とする。

$$\hat{\alpha} = a \times RVR \quad (9)$$

レンジブロックの分散 V_r はブロックタイプの判別の際に既に求められているので^[4]、ドメインブロックの分散のみを計算することにより、スケーリングパラメータの近似値が得られる。従って、式(1)を用いて計算するよりもRVRを計算する方が計算量が少なくなる。また、RVRの値は幾何変換によって変わらないので、全ての幾何変換に対して1回だけ α を計算すれば良い。従って、従来法よりも計算量が大幅に少なくなる。

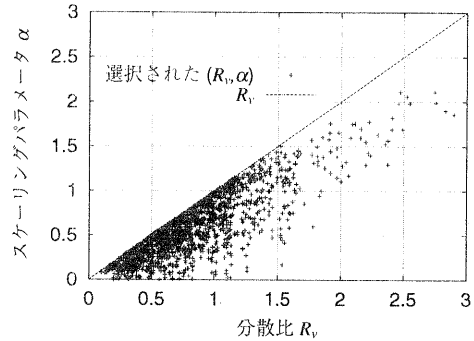


図 2: 分散比とスケーリングパラメータとの関係

4 シミュレーション実験

提案法の有効性を確認するため、計算機シミュレーションを行った。分散比にける係数を決定した後、最大振幅比、分散比および両者を組合せた方式について検討を行った。なお、レンジブロックの大きさは、 $16 \times 16, 8 \times 8, 4 \times 4$ とし、SHADEとEDGEとの間のしきい値、EDGEとDIVIDEとの間のしきい値は適応的に変化させた。また、平均値分離方式において、本来は一つのレンジブロックのパラメータの決定の際、何種類かの大きさのドメインブロックを探索するが、ここではレンジブロックの縦横2倍の大きさのみに限定している。

4.1 分散比にける係数の決定

係数 a を変化させたときのSN比を図3に示す。ただし、0.647bits/pelにおける値は実際よりも1dB低く表示してある。Lena (256×256, 8bits grayscale) の場合には $a = 0.88$ および $a = 0.90$ でSN比は最大となるが、0.84~0.94の範囲で同じようなSN比となっている。さまざまな画像に対して係数 a とSN比との関係を求めた結果、ほぼ同じような特性を示した。図2にSN比が最大となるときの a の値を示す。これより平均値を求め、 $a = 0.9$ として固定することとした。

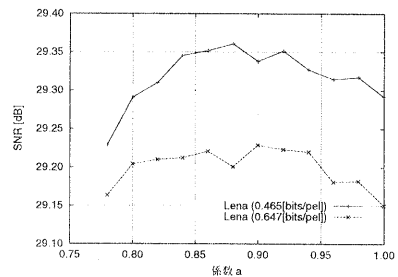


図 3: 分散比にける係数 a と SN 比との関係

表 2: SN 比が最大となる時の係数 a

画像 (256 × 256)	SN 比最大となる a	
	(1)	(2)
Lena	0.88	0.90
Aerial	0.80	0.88
Cameraman	0.92	0.94
Moon	0.82	0.88
Couple	0.88	0.90
Girl	0.96	0.88

※ (1) と (2) ではエントロピーが異なる。 $E_{(1)} < E_{(2)}$

表 3: 符号化時間 (Lena)

手法	Entropy [bits/pel]	SNR [dB]	符号化 時間 [s]
0. なし	0.444	28.897	4.846
1. 最大振幅比	0.418	28.828	3.739
2. 分散比	0.404	28.567	2.668
3. 1+2	0.399	28.438	2.486
0. なし	0.293	26.999	1.054
1. 最大振幅比	0.279	26.970	0.910
2. 分散比	0.269	26.562	0.660
3. 1+2	0.267	26.555	0.625

※符号化時間は 10 回の試行の平均値。同一パラメータ

4.2 符号化特性

各方式の符号化特性を図 4 に示す。ただし、図中の Conventional は式 1 によってスケーリングパラメータを求める従来法、Scheme1 は式 5 の最大振幅比を用いて計算の打ち切りを行う場合、Scheme2 は式 9 の分散比でスケーリングパラメータを近似した場合、Scheme1+2 は両提案法を組み合わせた場合の結果である。MAR を用いた場合、高レートで若干劣るものの、ほぼ従来法と同じ符号化特性を示している。また、分散比を用いた場合は低レートでは従来法とほぼ同じ特性を示しているが、レートが高くなるにつれて差が大きくなっている。両者を組み合わせた場合も同様である。従って、どのレートでも有効なのは最大振幅比を用いた計算の打ち切りで、分散比を用いる手法は低レートでのみ有効であると言える。

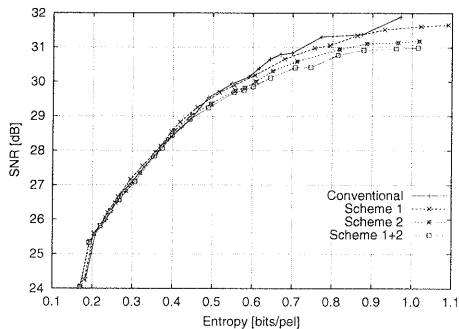


図 4: 各方式における符号化特性
(Lena 256 × 256)

4.3 符号化時間

各方式における符号化時間を表 3 に示す。ただし、各方式における符号化特性のうち、2 つの点について探索範囲、量子化等のパラメータが全く同じものの特性を抜き出したものである。図の上段におけるパラメータ

は、探索範囲 256、スケーリングパラメータに割り当てるビット数 3、オフセットパラメータに割り当てるビット数 6、SHADE と EDGE との間のしきい値 100、EDGE と DIVIDE との間のしきい値 200 とした。また、図の下段におけるパラメータは、探索範囲 64、スケーリングパラメータに割り当てるビット数 3、オフセットパラメータに割り当てるビット数 6、SHADE と EDGE との間のしきい値 200、EDGE と DIVIDE との間のしきい値 400 とした。

MAR を用いた場合、従来法に比べて 77%、86% の処理時間になっている。分散比を用いた場合、55%、63% の処理時間になっている。また、両者を組合せた場合、51%、59% の処理時間になっている。

4.4 EDGE 符号化の分析

4.4.1 パラメータの一致度

表 4 に MAR を用いた場合のパラメータの一致度合を示す。ただし、一致度は EDGE ブロックのパラメータについてのみ計算し、SHADE ブロックのパラメータは含めていない。約 15% のブロックにおいて従来法とは異なるパラメータが選択されている。そのほとんどは MAR が非常に大きな値をとる場合であり、それが選択された場合、再生画像に目に見える歪みとして現れる可能性がある。実際、符号化特性にはほとんど影響を与えていないため、無視しても良いと言える。

表 4: パラメータの一致度合

一致ブロック数 / 総ブロック数	割合
1160 / 1340	86.6%

4.4.2 計算が行われた回数

EDGEブロックの符号化において、1つのブロックを計算するのに

$$(\text{探索範囲}) \times (\text{幾何変換}) \quad (10)$$

だけの探索が必要になる。従って、MARでは(ブロック数) \times (探索範囲)だけ計算が行われる。実際には、画像の端の部分はドメインブロックとして選択できないため、それを差し引いた回数だけ計算が行われる。

表5は、EDGEブロック符号化の各処理において計算が行われた回数を示す。MARを例にとると、EDGEブロック符号化が全部で1340回呼び出され、MARの計算が3124678回行われている。そして、近似誤差の計算が146152回行われ、そうち最小値となる場合が5690回あったことを示す。従って、MARの計算および判別が終わった後、打ち切られずにブロックは183019ある。MARを用いた場合、パラメータの計算を行わなければならないブロックが312478から183019へと129459だけ削減された。これは全体の約41%に相当する。

表5: 計算が行われた回数 (Lena)
(0.444 bits/pel)

処理	なし	MAR	RVR	MAR + RVR
符号化	1340	1340	1340	1340
MAR	(312478)	312478	-	312478
RVR	(312478)	-	312478	184209
誤差	2499824	1464152	1680664	1465688
最小値	6095	5680	5019	4849

4.4.3 EDGEブロック処理時間の分析

図5に処理時間の内訳を示す。ただし、従来法を100%として処理時間の割合で示してある。この図から、MARを用いた場合、最大振幅比の計算のために約6%計算時間が増加しているが、スケーリングパラメータの計算、幾何変換、近似誤差の計算においてそれぞれ約10%計算時間が削減され、全体として23%計算時間が削減されていることが分かる。

分散比を用いた場合、分散比そのものの計算のために約6%要しているが、スケーリングパラメータの計算(量子化、定数倍のみ)にかかる計算時間が約2%に削減されている。また、スケーリングパラメータの計算、幾何変換、近似誤差の計算においてそれぞれ約10%計算時間が削減され、全体として45%計算時間が削減されていることが分かる。

両者を組み合わせた場合、分散比、スケーリングパラメータの計算のための処理時間が増加するが、以後の計算時間が削減されるため、全体として約50%計算時間が削減されている。

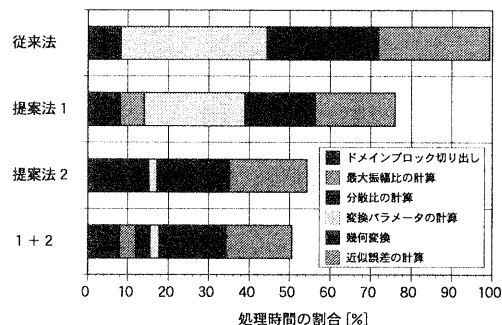


図5: EDGE符号化関数の処理時間の比較

5 むすび

本稿では、スケーリングパラメータをレンジブロックとドメインブロックとの分散の比で近似することとで符号化時間の高速化を実現するフラクタル画像符号化方式を提案した。計算機シミュレーションの結果、画質の劣化を抑えつつ符号化時間が30%~50%削減されることを確認した。

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. Barnsley, "FRACTALS EVERYWHERE," Academic Press Professional, 1988.
- [3] 富樫, 池原, 野寺, "フラクタル符号化の高速化," 情報処理学会論文誌, Vol.38 No.1, pp.64-72, Jan. 1997.
- [4] M. Harada, T. Fujii, T. Kimoto, and M. Tanimoto, "Fractal Image Coding Based on Replaced Domain Pools," in Proc. SPIE Visual Communication and Image Processing, Vol.3309-103, pp.1042-1049, Jan. 1998.