

テクニカルノート

フラクタル画像符号化における可変ブロックを用いた
高品質・高速復号法

黒田 英夫[†] 今村 幸祐[†] 藤村 誠[†]
デン ポペスク^{††} ホン ヤン^{†††}

本論文は、フラクタル画像符号化における可変ドメインブロックを用いた高品質・高速復号法に関して述べている。フラクタル画像符号化では、符号化の処理単位であるレンジブロックに対して、画像中のドメインブロック群から、自己相似のブロックを探索する。先に我々はレンジブロックを中心に含むブロックを優先的に探索する方式を提案し、探索処理の高速化と情報圧縮率の向上を実現した。本論文では、先の提案法を改良し、可変サイズのドメインブロックを用いる探索法を提案する。これにより、さらに再生画像の高品質化と復号速度の高速化が可能であることをシミュレーションにより評価する。

High Quality and Fast Decoding Method Using Variable
Domain Blocks for Fractal Image Coding

HIDEO KURODA,[†] KOUSUKE IMAMURA,[†] MAKOTO FUJIMURA,[†]
DAN C. POPESCU^{††} and HONG YAN^{†††}

This paper presents high quality and fast decoding techniques using variable domain blocks for fractal image coding. In fractal coding, the domain block similar to a given range block is selected as the best matching domain block. We have already proposed a technique to search the domain block as the best matching domain block, that is comprised of the pixels of the given range block and those pixels not more than three pixels away from the particular range block, prior to others blocks. In this paper, we propose an improving technique using variable domain block to search the best matching domain blocks. Simulation results show that to obtain high quality and fast decoding time.

1. ま え が き

新しい画像符号化技術として、画像の構造的特徴である自己相似性を利用し符号化を行うフラクタル画像符号化の研究が、さかに行われている^{1)~4)}。フラクタル画像符号化における問題点の1つに、符号化処理時の計算量が多く、一般に時間がかかることがあげられる。これは画像に含まれる多数のドメインブロックからレンジブロックと類似したドメインブロック（最適ドメインブロック）を選択する処理のためである。

我々は、符号化処理の高速化と情報発生量の削減のために、レンジブロックを中心に含むドメインブロックを最優先に、次にそのドメインブロックにきわめて近い8近傍のドメインブロックを優先的に探索するブロック探索法を先に提案した²⁾。

この高速探索法では、優先的に探索するドメインブロックが最適ドメインブロックとして選択される頻度を高くするために、ドメインブロックの1辺が、レンジブロックよりたかだか2または4画素大きいサイズのドメインブロックを用いている。しかし、ドメインブロックサイズを小さくすると復号時の再生画像の収束速度が遅くなり、画質の低下も大きい。

Beaumont³⁾はレンジブロックサイズ4×4画素に対し、ドメインブロックサイズ12×12画素の大きいサイズとした。そのため空間的縮小性が大きくなり、復号時における画像再生が高速となった。

[†] 長崎大学工学部
Faculty of Engineering, Nagasaki University

^{††} CSIRO

^{†††} シドニー大学工学部
Department of Electrical Engineering, The University
of Sydney

本論文では、先に提案した高速ブロック探索法を改良した、可変ブロックを用いた高品質・高速復号法を提案している。優先ドメインブロックは、最適ドメインブロックとして選択される頻度が高くなるように、小さいサイズとし、その他のドメインブロックは、再生画像の収束速度の高速化と画質の向上のために大きなサイズを用いている。

2. フラクタル画像符号化の基本構成

フラクタル画像符号化は、入力画像を複数のレンジブロック（ブロックサイズ $R \times R$ ）に分割して、その各ブロックについて入力画像の中から類似したドメインブロック（ブロックサイズ $D \times D$, $D > R$ ）を選択する。そしてレンジブロックの画素の平均値、標準偏差、類似したドメインブロックの位置およびアフィン変換情報等を伝送するものである。

最適ドメインブロックは通常ドメインプールと呼ばれる画像中のドメインブロック群から探索される。探索の際には、レンジブロックに対して式(1)に示す δ の値が最小になるドメインブロックが最適ドメインブロックとして選択される。ここで、 r はレンジブロックの画素値に対して、自分自身のブロックの平均値を引き、標準偏差で割った値を示し、 d はレンジブロックと同じ大きさに縮小したドメインブロックの画素値に、レンジブロックと同様の変換を加えた値である。また n はブロックのサイズである⁴⁾。

$$\delta = \delta(r, d) = \sqrt{\frac{1}{n^2} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (r_{ij} - d_{ij})^2} \quad (1)$$

3. 可変ドメインブロック高品質・高速復号法

図1に高速ブロック探索法のアルゴリズムを示す。まず、入力されるレンジブロックに対して標準偏差を計算する。もし標準偏差が閾値 $T1$ より小さかったら、そのレンジブロックはフラットレンジブロックに分類され、復号時にはそのレンジブロックは平均値のみで近似される。そうでない場合は次の過程に進む。次の過程ではレンジブロックを中心に含むドメインブロックに対し、式(1)に示す δ を計算する。 δ にレンジブロックの標準偏差 $dev(r)$ をかけた値 $\delta \times dev(r)$ が閾値 $T2$ より小さかったら、レンジブロックを中心に含むドメインブロックを最適ドメインブロックと決定し、他のドメインブロックの評価は行わない。閾値 $T2$ 以上の値であれば第3過程に進む。第3過程ではレンジブロックの8近傍のドメインブロックに対して、同様に $\delta \times dev(r)$ を計算する。8近傍のドメインブロッ

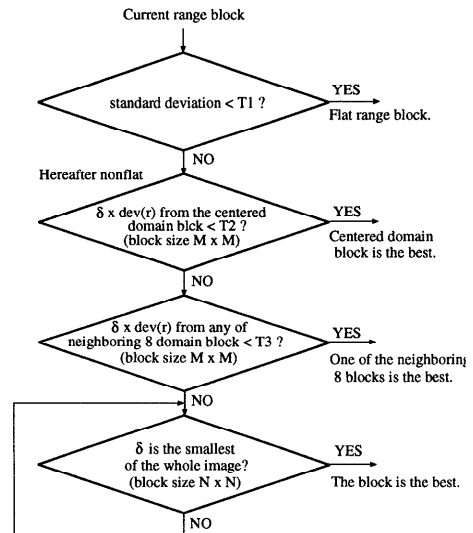


図1 ブロック探索アルゴリズム

Fig. 1 Block searching algorithm.

クとは、レンジブロックと中心座標が等しいドメインブロックから各8方向に1画素ずつ移動した位置のドメインブロックである。 $\delta \times dev(r)$ が閾値 $T3$ より小さい値であれば、そのブロックを最適ドメインブロックとして選択する。閾値 $T3$ 以上の値であれば最終過程に進む。最終過程ではドメインプール中の多数のブロックの中から最も小さい δ の値を持つドメインブロックを探索し、これを最適ドメインブロックとする。

この探索法において、レンジブロックを中心に含むドメインブロック、またはその8近傍のドメインブロック（優先ドメインブロック）が、頻繁に最適ドメインブロックとして選択される場合、探索ブロック数が大幅に削減され、画像の符号化処理時間を短縮することができる。さらに、レンジブロックを中心に含むドメインブロックが最適ドメインブロックとして選択された場合、位置がレンジブロックと同じであることから位置情報が既知となり、位置情報を伝送する必要がなくなる。かつドメインブロックの回転変換も必要ではなくなる。

先に提案した高速ブロック探索法では、優先ドメインブロックのサイズ $M \times M$ と、その他のドメインブロックのサイズ $N \times N$ は同じサイズを用いていた(図1)。ドメインブロックサイズを大きくした場合、空間的縮小性が大きくなるため復号化時の画像の収束速度が早く画質も良いが、レンジブロックサイズとの差が大きくなるため、優先ドメインブロックが最適ドメインブロックとして選択される頻度は低くなる。またドメインブロックサイズが小さいと、レンジブロック

サイズとの差が小さくなるため、優先ドメインブロックが最適ドメインブロックとして選択される頻度が高くなるが、空間的縮小性が小さくなるために収束速度は遅く画質も低下する。

そこで、本論文では先に提案した高速ブロック探索法を改良した、可変サイズのドメインブロックを用いた探索法を提案する。優先ドメインブロックのサイズ $M \times M$ には、レンジブロックサイズに近い小さいサイズを用い、その他のドメインブロックのサイズ $N \times N$ には収束速度の高速化と画質の向上のため大きいサイズを用いる。

4. シミュレーション実験

可変ブロックを用いた高品質・高速復号法の評価のために、シミュレーション実験を行った。実験画像には、“Claire”, “Lenna”, “Miss America”, “Salesman”, “Table Tennis” の 5 種類を用いた。実験では、一般的なレンジブロックサイズ 4×4 画素とし、また探索で用いる閾値は、 $T_1 = T_2 = T_3 = 4$ を用いる。

先に提案したブロックサイズ一定とした高速ブロック探索法と可変ブロックを用いた高品質・高速復号法の比較を行う。表 1 に、実験画像それぞれに対する固定符号長を割り当てた場合の情報発生量、最適ドメインブロックを選択するために必要であった探索数、再生画像の SNR を示す。また 5 種類の画像の平均値についても示している。図 2 に、復号化処理における繰返し回数に対する再生画像の SNR を、5 種類の画像の平均値について示している。図 2 において太線で示した結果が、先に提案した、一定サイズのドメインブロックサイズを用いる探索法であり、細線で示した結果が、本論文で提案する可変ブロックを用いた高品質・高速復号法である。

図 1 から、情報発生量と最適ドメインブロックの選択に必要な探索数は、優先ドメインブロックのサイズ $M \times M$ に依存し、レンジブロックサイズに近いサイズを用いた方が、最適ドメインブロックとして選択される頻度が高くなり、情報発生量と探索数を大幅に削減できることが分かる。また図 2 から、再生画像の画質と収束速度に関してはほぼ優先ドメインブロック以外のドメインブロックのサイズ $N \times N$ に依存し、大きいサイズのドメインブロックを用いた方が、画質も高く、画像の収束速度も早いことが分かる。

このように、ドメインブロックを可変にすることによって、小さいブロックサイズ一定とした場合の情報発生量と探索数のまま、大きいブロックサイズ一定とした場合とほぼ同程度の再生画像の画質と収束速度を

表 1 探索数と SNR

Table 1 The number of searches and SNR.

| Image | Proposed method | Priority Block Size | | Bit rate [bits/pixel] | The number of searches | | SNR [dB] | | | | | |
|--------------|-----------------|---------------------|-------|-----------------------|------------------------|-----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Higher | Lower | | <for 12x12> | <for 8x8> | | | | | | |
| Claire | Old | <12x12> | <8x8> | <0.74> | <0.73> | <0.70> | <294> | <215> | <157> | <39.6> | <39.3> | <38.4> |
| | | 6x6 | 8x8 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 144 | 159 | 144 | 39.3 | 39.7 | 39.6 |
| | New | 6x6 | 12x12 | 0.70 | 0.73 | 0.73 | 235 | 235 | 235 | 39.6 | 39.6 | 39.6 |
| | | 8x8 | 12x12 | 0.73 | 0.73 | 0.73 | 235 | 235 | 235 | 39.6 | 39.6 | 39.6 |
| Lenna | Old | <12x12> | <8x8> | <1.22> | <1.18> | <1.11> | <665> | <596> | <501> | <33.8> | <32.6> | <31.8> |
| | | 6x6 | 8x8 | 1.11 | 1.11 | 1.11 | 446 | 446 | 446 | 32.4 | 32.4 | 32.4 |
| | New | 6x6 | 12x12 | 1.11 | 1.11 | 1.11 | 432 | 432 | 432 | 33.6 | 33.6 | 33.6 |
| | | 8x8 | 12x12 | 1.18 | 1.18 | 1.18 | 573 | 573 | 573 | 33.8 | 33.8 | 33.8 |
| Miss America | Old | <12x12> | <8x8> | <0.78> | <0.75> | <0.72> | <300> | <232> | <150> | <39.8> | <39.2> | <38.9> |
| | | 6x6 | 8x8 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 138 | 138 | 138 | 39.0 | 39.0 | 39.0 |
| | New | 6x6 | 12x12 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 139 | 139 | 139 | 39.5 | 39.5 | 39.5 |
| | | 8x8 | 12x12 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 229 | 229 | 229 | 39.7 | 39.7 | 39.7 |
| Salesman | Old | <12x12> | <8x8> | <1.52> | <1.49> | <1.38> | <1491> | <1459> | <1269> | <34.6> | <33.6> | <32.3> |
| | | 6x6 | 8x8 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1154 | 1154 | 1154 | 32.8 | 32.8 | 32.8 |
| | New | 6x6 | 12x12 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1100 | 1100 | 1100 | 34.0 | 34.0 | 34.0 |
| | | 8x8 | 12x12 | 1.49 | 1.49 | 1.49 | 1391 | 1391 | 1391 | 34.6 | 34.6 | 34.6 |
| Table Tennis | Old | <12x12> | <8x8> | <1.84> | <1.83> | <1.78> | <1420> | <1400> | <1355> | <31.2> | <30.6> | <29.4> |
| | | 6x6 | 8x8 | 1.78 | 1.78 | 1.78 | 1306 | 1306 | 1306 | 30.1 | 30.1 | 30.1 |
| | New | 6x6 | 12x12 | 1.78 | 1.78 | 1.78 | 1292 | 1292 | 1292 | 31.1 | 31.1 | 31.1 |
| | | 8x8 | 12x12 | 1.83 | 1.83 | 1.83 | 1385 | 1385 | 1385 | 31.2 | 31.2 | 31.2 |
| Mean | Old | <12x12> | <8x8> | <1.22> | <1.20> | <1.14> | <834> | <780> | <686> | <35.8> | <35.1> | <34.2> |
| | | 6x6 | 8x8 | 1.14 | 1.14 | 1.14 | 637 | 637 | 637 | 34.7 | 34.7 | 34.7 |
| | New | 6x6 | 12x12 | 1.14 | 1.14 | 1.14 | 624 | 624 | 624 | 35.6 | 35.6 | 35.6 |
| | | 8x8 | 12x12 | 1.22 | 1.22 | 1.22 | 762 | 762 | 762 | 35.8 | 35.8 | 35.8 |

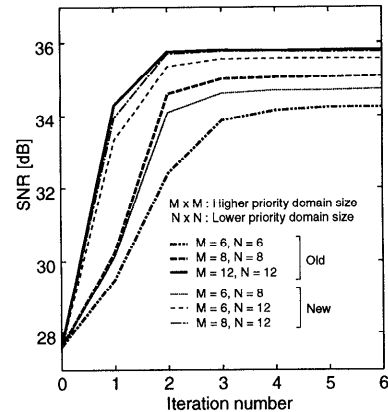


図 2 繰返し回数に対する SNR (5 種類の画像の平均値)

Fig. 2 SNR for the iteration number (mean of 5 images).

得ることができた。

次に実際に提案方式で符号化した画像を示す。図 3 は“Salesman”の原画像 (352 × 288 画素, 256 階調) である。

図 4 は、優先ドメインブロックサイズを 6 × 6 画素、その他のドメインブロックサイズを 12 × 12 画素とした場合のそれぞれの再生画像である。

5. むすび

フラクタルモデリングを用いた画像符号化において、我々が先に提案した高速ブロック探索法を改良し、可変サイズのドメインブロックを用いることによって、ブロック探索法の高品質・高速復号化を提案した。シミュレーション実験を行い、先に我々が提案した高速ブロック探索法の情報発生量と最適ドメインブロックを選択するために必要なドメインブロックの探索数の削減を維持したまま、再生画像の高品質化と復号処理の高速化が可能となった。

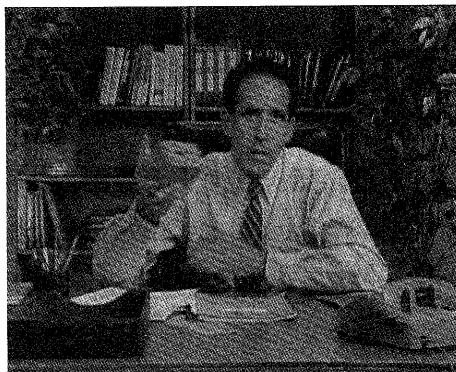


図3 原画像“Salesman”
Fig. 3 Original Image “Salesman”.

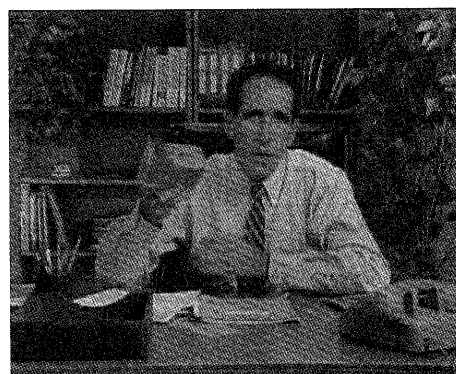


図4 再生画像“Salesman”（優先ドメインブロックサイズ 6×6 画素，その他のドメインブロックサイズ 12×12 画素）
Fig. 4 Reconstructed image “Salesman” (higher priority domain block size 6×6 , lower priority domain block size 12×12).

参考文献

- 1) Wein, C.J. and Blake, I.F.: On the Performance of Fractal Compression with Clustering, *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.5, No.3, pp.522-526 (1996).
- 2) 黒田英夫, Popescu, D.C., 今村幸祐, Yan, H.: フラクタル画像符号化における高速ブロックマッチング法, *情報処理学会論文誌*, Vol.38, No.8, pp.1543-1553 (1997).
- 3) Beaumont, L.M.: Image data compression using fractal techniques, *BT Technology*, Vol.9, No.4, pp.93-109 (1991).
- 4) Jacquin, A.E.: Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformation, *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.1, pp.18-30 (1992).

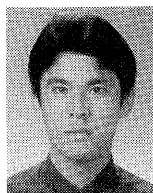
(平成10年3月2日受付)

(平成10年5月8日採録)



黒田 英夫（正会員）

1971年九州工業大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社電気通信研究所入社。1989年より長崎大学工学部教授。画像信号の高効率符号化等の研究に従事，工学博士。



今村 幸祐

1995年長崎大学工学部電気情報工学科卒業。1997年同大学大学院工学研究科修了。同年同大学院海洋生産科学研究科入学。画像信号の高効率符号化等の研究に従事。



藤村 誠（正会員）

1985年福井大学工学部卒業。同年FHL入社。1990年長崎大学工学部助手。1994年同講師。動画像の高効率符号化，画像処理等の研究に従事。



Dan C. Popescu

Dan C. Popescu received his M.S. degree in Computer Science from the Polytechnical Institute of Bucharest, Romania in 1980. He is currently a Research Scientist with CSIRO, Canberra, Australia. His latest research interests include image and video compression, parallel image processing and computer vision.



Hong Yan

Hong Yan received his B.E. degree from Nanking Institute of Posts and Telecommunications in 1982, M.S.E. degree from the University in 1989. He is currently a Professor in Electrical Engineering the University of Sidney. His research interests include medical imaging, signal and image processing, neural networks and pattern recognition.