フラクタル画像符号化における新しいドメインブロック評価関数

今村 幸祐[†] 田中 祐史[†] 黒田 英夫[†]

フラクタル画像符号化は，符号化時にレンジブロックに類似した最適ドメインブロックを選択する．その最適ドメインブロックの選択の際には，ドメインブロックの評価関数を用いる．フラクタル画像符号化の再生画像は，レンジブロックと符号化時に選択した最適ドメインブロックのパターンが一致しないことが原因で生じる符号化誤差と，符号化時に選択した最適ドメインブロックと復号化時に用いる最適ドメインブロックのパターンが一致しないことが原因で生じる復号化誤差の2種類の誤差を含む．従来のドメインブロック評価関数は，符号化誤差しか考慮していない．そのため，レンジブロックを再生するために最も適したドメインブロックを，最適ドメインブロックとして選択できない．本論文では，符号化誤差と復号化誤差の2種類の誤差を用い，その和が最も小さいドメインブロックを最適ドメインブロックとして選択する評価関数を提案する．シミュレーション実験を行い，提案するドメインブロック評価関数を用いることによって，従来のドメインブロック評価関数を用いた場合より 0.52 ~ 1.27 dB 高い品質の再生画像を得られることを示す．

A New Domain Block Estimation Function for Fractal Image Coding

Kousuke Imamura,[†] Yuuji Tanaka[†] and Hideo Kuroda[†]

In fractal image encoding process, the most similar domain block to a range block is selected as the best domain block by domain block estimation function. A reconstructed image of fractal image coding includes two kinds of error, one is encoding error caused by difference between a range block pattern and the best domain block pattern. The other is decoding error caused by disagreement between the best domain block pattern at encoding process and best domain block pattern at decoding process. Current domain block estimation function considers only encoding error. Therefore, current domain block estimation function can't select the best domain block for the reconstructed image truly. In this paper, we first discuss the encoding error and the decoding error, and second propose a novel domain block estimation function by which the domain block having minimum summation of these errors is selected as the best domain block. By computer simulation, the reconstructed image quality using our proposed domain block estimation function is verified to improve 0.52 ~ 1.27 dB than it using current estimation function.

1. はじめに

近年，画像の自己相似性という構造的特徴を利用した，フラクタル画像符号化が注目を集めている．

フラクタル画像符号化においては，符号化時に画像をレンジブロック単位に分割し，各レンジブロックに対して，最も類似したパターンを持つドメインブロックを最適ドメインブロックとして選択する．そして，この最適ドメインブロックのアドレス情報を，レンジブロックの平均値情報等とともに復号化側に伝送する．

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

復号化時には，レンジブロックの平均値によって構成された初期再生画像を基に，受信した最適ドメインブロックのアドレス情報で指定されるドメインブロックを抽出する．そして，抽出したドメインブロックを縮小し，レンジブロックを更新する．この更新処理をすべてのレンジブロックに対して，繰り返し行うことで，再生画像を生成する．

フラクタル画像符号化の再生画像に現れる誤差は，符号化時に生じる誤差と復号化時に生じる誤差の2種類を合わせたものである．符号化時に生じる誤差は，レンジブロックのパターンと選択した最適ドメインブロックのパターンが完全に一致しないために生じる．また，復号化時に生じる誤差は，再生画像がレンジブ

ロックの平均値のみで構成された低解像度の画像から作られていくために，コードブックとなる再生画像中のドメインブロックのパターンが，符号化時に選択した最適ドメインブロックのパターンと完全に一致しないために生じる．

これまでのフラクタル画像符号化では，最適ドメインブロックを選択するための評価関数は，レンジブロックとの誤差が最小となるドメインブロックを選択するものであった．しかし再生画像に現れる誤差は，符号化時に生じる誤差と復号化時に生じる誤差を合わせたものとなるため，従来のドメインブロック評価関数は，レンジブロックを再生するのに最も適したドメインブロックを選択しているとはいえない．

本論文では，フラクタル画像符号化の再生画像に含まれる誤差の解析を行い，符号化において生じる誤差のみでなく，復号化において生じる誤差も考慮し，レンジブロックを再生するのに最も適したドメインブロックを選択する新しいドメインブロック評価関数を提案する．

2. フラクタル画像符号化の基本原理

まず，フラクタル画像符号化の基本的な処理手順について説明する．

フラクタル画像符号化の符号化処理では，**図1**に示すように，原画像を重なり合わない $n \times n$ 画素のブロックに分割する．この単位ブロックをレンジブロック R と呼ぶ．次に各レンジブロックに対して，パターンが類似したブロックを，ドメインプールと呼ばれるドメインブロック群から選択する．ドメインブロック D は，レンジブロックより大きいサイズのブロックであり，ドメインプールは原画像から抽出したドメインブロックによって構成されている．レンジブロックにパターンが最も類似したドメインブロックを，最適ドメインブロックと呼ぶ．

符号化処理においては，一般に式 (1)，式 (2) の評価関数を用いて，各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．

$$sf = S_r/S_d \leq T_s = 1 \tag{1}$$

$$\delta = \delta(r,d) = \left\{\frac{1}{n^2}\cdot\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\{r(i,j) - \tau d(i,j)\}^2\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

ここで sf はスケーリングファクタ，T_s はスケーリングファクタの閾値を示している．S_r，S_d はレンジブロックとドメインブロックそれぞれの標準偏差を示し，

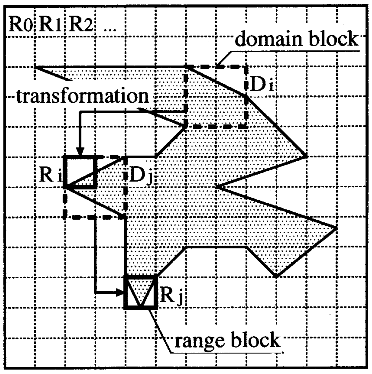


図1 フラクタル画像符号化の符号化処理
Fig. 1 Encoding process of fractal image coding.

$r(i,j)$，$d(i,j)$ は，レンジブロックと縮小されたドメインブロックの，位置 (i,j) における変換後の画素値を示している．ここで加えられる変換とは，ブロック自身の平均値を引き，標準偏差で割るという正規化変換である．また，τ は以下に示すアフィン変換による8つの幾何学的な等測変換 $\tau_1 \sim \tau_8$ を示している．

τ_1 ：無変換
τ_2 ：垂直中心軸反転
τ_3 ：水平中心軸反転
τ_4 ：第一対角線反転
τ_5 ：第二対角線反転
τ_6 ：時計回り 90 度回転
τ_7 ：反時計回り 90 度回転
τ_8 ：180 度回転

ドメインブロックの評価は，式 (1) の条件を満たすドメインブロックについてのみ行う．そして最終的に，式 (2) の δ に，レンジブロックの標準偏差をかけた値 $\delta \cdot S_r$ が最小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択する．

このように符号化処理では，ドメインプールを探索し，各レンジブロックに最も類似したドメインブロックを最適ドメインブロックとして選択する．ただし，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と定義し，最適ドメインブロックの探索は行わず，復号化時にはブロックの平均値のみを用いてレンジブロックを近似する．

符号化処理は，画像を各レンジブロックについて，平均値と標準偏差，最適ドメインブロックの画像中における位置，最適ドメインブロックに加えられたアフィン変換情報等の画像データに変換し，復号化側に伝送する．

次にフラクタル画像符号化の復号化処理では，受信したレンジブロックの平均値を用いて，解像度の低い初期再生画像を作成する．次に初期再生画像をもとに，復号化処理を繰り返し行い，高い解像度の再生画像へと更新する．各レンジブロックに適用される繰返し処理を下記に示す．

- 伝送された最適ドメインブロックの位置情報より，再生画像からドメインブロックを抽出する．
- 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，伝送されたアフィン変換情報により，抽出したドメインブロックの変換を行う．
- 式 (3) により，変換後のドメインブロックの画素値を用いて，レンジブロックの画素値を更新する．

$$\hat{r} = \hat{r}(i,j) = \{d(i,j) - M_d\} \cdot \frac{S_r}{S_d} + M_r \qquad (3)$$

ここで $\hat{r}$ は更新されたドメインブロックの画素値を示す．また $d(i,j)$ は縮小アフィン変換後のドメインブロックの，位置 (i,j) の画素値であり，M_r，M_d はレンジブロックと変換後のドメインブロックそれぞれの平均値であり，S_r，S_d は標準偏差である．

この復号化処理は，十分な再生画像品質が得られるまで，すべてのレンジブロックに対して，繰り返し行う．

3. 従来のドメインブロック評価関数の問題点

次に従来のドメインブロック評価関数を用いた場合に生じる問題点について述べる．

フラクタル画像符号化の符号化処理においては，単位ブロックである各レンジブロックに対して，最適ドメインブロックを選択する．このドメインプール中のどのドメインブロックが最適なドメインブロックであるかの判定には，ドメインブロック評価関数を用いる．

フラクタル画像符号化では，一般に式 (1)，式 (2) をドメインブロックの評価関数として用いる．式 (1) は，最適ドメインブロックであるための条件を表している．式 (1) のスケーリングファクタ sf を 1 以下とすることで，空間的な縮小要素ばかりでなく，画素値的にも縮小要素を得ることができる．このことで，復号化の繰返し処理により，レンジブロックとドメインブロックのパターンの不一致による画素値的な誤差を小さくすることができる．式 (2) は，単純なレンジブロックとドメインブロックのパターンマッチングである．この式から得られる δ とレンジブロックの標準偏差 S_r をかけた値は，レンジブロックとドメインブロックの誤差の大きさを表している．したがって，最も小さい $\delta \cdot S_r$ の値を持つ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とになる．

ここで問題となるのは，式 (1) の条件である．スケーリングファクタ sf に対する閾値 T_s の値を 1 より大きくすると，確かに誤差を拡張してしまう場合が生じるが，閾値 T_s の値を小さくすると，評価されるドメインブロック数が少なくなり，類似したパターンを持つドメインブロックを選択できる確率が低くなる．

したがって，誤差の縮小が行われることだけを考慮して，スケーリングファクタの閾値を 1 に設定するのは問題である．誤差の縮小要素と探索するドメインブロック数の両方を考慮し，閾値 T_s を決定すべきである．

さらに，従来のドメインブロック評価関数には，別の大きな問題もある．フラクタル画像符号化の再生画像には，レンジブロックとドメインブロックのパターンの不一致に起因する誤差のほかに，原画像の最適ドメインブロックと再生画像のドメインブロックのパターンの不一致に起因する誤差が含まれる．従来のドメインブロック評価関数は，レンジブロックとドメインブロックのパターンの不一致に起因する誤差しか考慮していなかったため，レンジブロックを再生するのに最適なドメインブロックを選択することはできない．これを改善するためには，原画像の最適ドメインブロックと再生画像のドメインブロックのパターンの不一致に起因する誤差も考慮し，評価することが必要である．

4. 再生画像に含まれる誤差の解析

フラクタル画像符号化において，レンジブロックを再生するのに最も適したドメインブロックは，最終的な再生画像において，原画像との誤差が最も小さくなるドメインブロックである．ここでは，レンジブロックを再生するのに適したドメインブロックを選択することが可能な評価関数を得るために，再生画像に含まれる誤差を解析する．

4.1 符号化処理において生じる誤差

フラクタル画像符号化の符号化処理では，各レンジブロックに対して最適ドメインブロックを選択する．符号化時に選択した最適ドメインブロックとレンジブロックのパターンが完全に一致しない場合，それが原因となり再生画像に誤差が生じる．この誤差を，ここでは符号化誤差と呼ぶことにする．**図 2** に符号化誤差の例を示す．

符号化誤差の大きさは，レンジブロックと最適ドメインブロックの誤差から得られる．まず最適ドメインブロックをレンジブロックのサイズに縮小変換する．

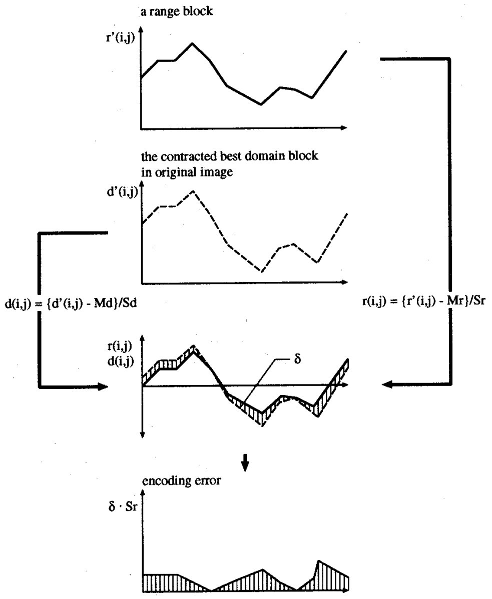


図 2　符号化誤差
Fig. 2　Encoding error.

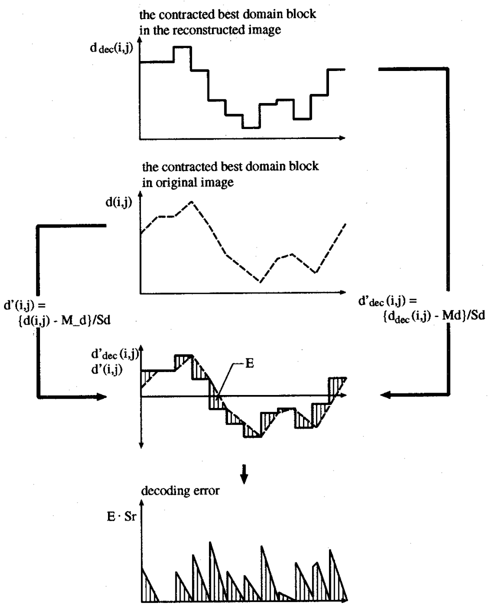


図 3　復号化誤差
Fig. 3　Decoding error.

次にレンジブロックと縮小したドメインブロックのそれぞれに対して，自身の平均値を引き，標準偏差で割るという正規化を行う．そして，正規化されたブロックどうしの画素値の差分の RMS を計算し，それにレンジブロックの標準偏差をかけることによって，符号化誤差の大きさが得られる．従来のドメインブロック評価関数の式 (2) は，符号化誤差の大きさの計算である．

4.2 復号化処理において生じる誤差

フラクタル画像符号化の再生画像には，符号化誤差のほかに，原画像の最適ドメインブロックと再生画像の最適ドメインブロックのパターンが一致しないことが原因で生じる誤差も含む．

復号化処理では，まず受信したレンジブロックの平均値のみを用いて，低解像度の初期再生画像を作成する．そして，再生画像の各レンジブロックを，受信した最適ドメインブロックの位置情報により抽出されたドメインブロックを用いて，式 (3) によって更新する．この処理を繰り返し行うことによって，次第に原画像に近い再生画像を作成する．

ここで，レンジブロックの更新で用いられるドメインブロックは，再生画像中の最適ドメインブロックであり，原画像における最適ドメインブロックとは，ブロックのパターンが完全に一致していることは少ない．この復号化処理における再生画像の最適ドメインブロックと原画像の最適ドメインブロックのパターンの不一致により誤差が生じる．この復号化時において生じる誤差をここでは復号化誤差と呼ぶ．**図 3** に復号化誤差の例を示す．

この再生画像と原画像の最適ドメインブロックのパターンの不一致により生じる復号化誤差の大きさは，レンジブロックと最適ドメインブロックとの類似度に依存しない．また繰返しの過程において，再生画像の解像度が変化することから，復号化誤差の大きさも，繰返し処理の過程で変化する．したがって，符号化処理の時点で，復号化誤差を正確に予測するのは非常に困難である．

図 4 に，再生画像に含まれる復号化誤差を示す．図 4 における輝度値は，最終的な再生画像に含まれる復号化誤差の絶対値であり，復号化誤差が大きいほど，輝度値を高く表示している．

4.3 復号化処理において生じる誤差の評価

復号化誤差を評価するために，まず復号化誤差が，他のどのような要素に関係しているかを調べる．復号化処理におけるレンジブロックの更新式である式 (3) に，原画像の最適ドメインブロックと再生画像のドメインブロックの，位置 (i,j) における誤差 $e(i,j)$ を追加したものが，式 (4) である．

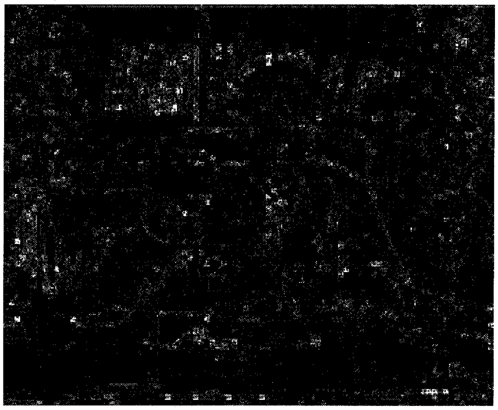


図4 再生画像に含まれる復号化誤差（Salesman）
Fig. 4 Decoding error in the reconstructed image (Salesman).

$$\begin{aligned}\hat{r} &= \hat{r}(i,j)\\ &= \{d(i,j)+e(i,j)-M_d\}\cdot\frac{S_r}{S_d}+M_r \quad (4)\\ &= sf\cdot\{d(i,j)-M_d\}+M_r+sf\cdot e(i,j) \quad (5)\end{aligned}$$

式 (4) の $e(i,j)$ に関係する項を分離すると，式 (5) となり，復号化誤差における誤差に関係する要素は，スケーリングファクタ sf であることが分かる．このことより，最終的に再生画像に生じる復号化誤差の大きさを，スケーリングファクタとの関係式で表し，それによって復号化誤差の大きさを評価する．

図5 に，各レンジブロックにおけるスケーリングファクタと最終的に再生画像に生じる復号化誤差の大きさの関係を示す．図5より，スケーリングファクタが大きくなるほど，復号化誤差が大きくなる傾向があることが分かる．

ドメインブロックの評価は，各レンジブロックと多数のドメインブロックについて行う．したがって，最適ドメインブロックの評価に費される計算量は膨大なものとなり，符号化処理時間に大きく影響する．したがって，ドメインブロック評価関数は，簡単な関数である方が望ましい．そこで，復号化誤差の大きさとスケーリングファクタの関係式は，簡単な形で表すことにする．

本論文では，復号化誤差の大きさとスケーリングファクタは，簡単な比例関係であると仮定する．したがって，復号化誤差の大きさとスケーリングファクタ sf の関係式は，定数 K を用いて，$K\cdot sf$ で表す．**表1** に，5種類のテスト画像について，復号化誤差とスケーリングファクタの関係を，最小二乗法により直

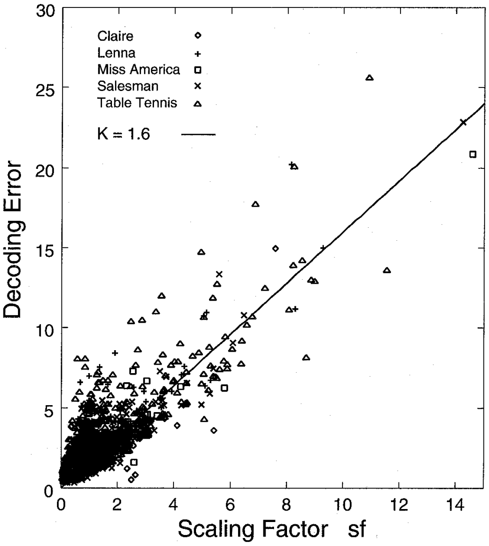


図5 スケーリングファクタ sf に対する復号化誤差
Fig. 5 Decoding error for scaling factor.

表1 各画像における傾き K
Table 1 Gradient K for each test images.

Image	K
Claire	1.23
Lenna	1.76
Miss America	1.54
Salesman	1.66
Table Tennis	1.78

線近似した場合の直線の傾き K の値を示す．テスト画像には "Claire", "Miss America", "Salesman", "Table Tennis"（352 × 288 ×256）および "Lenna"（256 × 256 × 256）を用いた．

復号化誤差の正確な値は，再生画像からしか得ることができず，符号化処理時に予測するのは難しい．そこで，復号化誤差とスケーリングファクタの関係を表す直線の傾きは，経験的な値として，5種類のテスト画像の平均値である 1.6 を用いる．以上より，復号化誤差の大きさは，スケーリングファクタ sf との関係を用いて，$1.6\cdot sf$ で表す．

5. 提案するドメインブロック評価関数

フラクタル画像符号化の再生画像には，レンジブロックと原画像の最適ドメインブロックのパターンが一致しないために生じる符号化誤差と，原画像の最適ドメインブロックと再生画像のドメインブロックのパターンが一致しないために生じる復号化誤差の2種類

の誤差を含む．したがって，レンジブロックを再生する最適ドメインブロックには，符号化誤差と復号化誤差の2種類の誤差を合わせた値が最も小さいドメインブロックを選択すべきである．

我々は，従来のドメインブロック評価関数では考慮されていなかった，復号化誤差をスケーリングファクタとの関係式で表した．この関係式を用いることによって，符号化誤差と復号化誤差の両方を評価できるドメインブロック評価関数を作ることができる．

式(6)に，我々が提案するドメインブロック評価関数を示す．

$$\delta_{new} = \underline{\delta \cdot S_{r}}_{(a)} + \underline{K \cdot sf}_{(b)} \quad (6)$$

ここで，δ は，従来のドメインブロック評価関数の式(2)によって得られる δ と等しい．また，S_r はレンジブロックの標準偏差，sf はスケーリングファクタ，K は復号化誤差とスケーリングファクタの関係を表す値である．

式(6)の下線部(a)が，符号化誤差の大きさを評価する項であり，下線部(b)が，復号化誤差の大きさを評価する項である．

我々が提案するドメインブロック評価関数式(6)では，各ドメインブロックに対して，δ_{new} を計算し，最も小さい δ_{new} の値を持つドメインブロックを，最適ドメインブロックとして選択する．これにより，再生画像における誤差が最も小さく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択することができる．

6. シミュレーション実験と結果

提案する新しいドメインブロック評価関数についてシミュレーション実験を行った．また比較のため，従来のドメインブロック評価関数についても，シミュレーション実験を行った．

テスト画像には，復号化誤差とスケーリングファクタの関係式を得るために用いた画像と同じ "Claire"，"Miss America"，"Salesman"，"Table Tennis"（352 × 288 ×256）および "Lenna"（256 × 256 × 256）を用いた．またレンジブロックサイズは 4 × 4 画素，ドメインブロックサイズは 8 × 8 画素の一般的なサイズを用いた．

6.1 従来のドメインブロック評価関数により得られる画品質

まず，従来のドメインブロック評価関数を用いたフラクタル画像符号化で得られる再生画像の品質を調べた．

従来のドメインブロック評価関数は，スケーリングファクタの大きさによって最適ドメインブロックの候補を選択し，その候補の中から，レンジブロックと原画像のドメインブロックの誤差の大きさによって，最適ドメインブロックを選択する．図**6**は，最適ドメインブロック候補を選択する式(1)における，スケーリングファクタに対する閾値 T_s の値を変化させた場合の再生画像の SNR である．

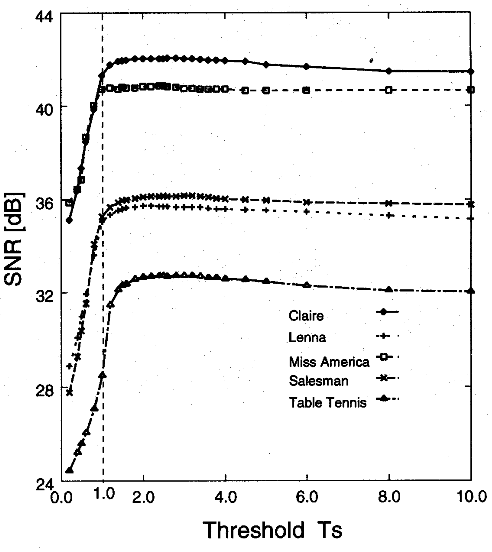


図6 スケーリングファクタの閾値 T_s と再生画像の SNR
Fig. 6 Scaling factor threhold T_s to SNR of the reconstructed image.

図6より，閾値 T_s の値が 2.4 ～ 3.0 のとき，再生画像の SNR は最大値となる．そして，再生画像の SNR が最大となる T_s の値を中心として，T_s の値が小さくなるほど，急激に画品質は低下し，T_s の値が大きくなる場合も，次第に画品質は低下している．

T_s の値が小さすぎる場合，評価されるドメインブロック数が少なくなり，レンジブロックに十分類似したドメインブロックを選択できなくなる．そのため，レンジブロックと最適ドメインブロックの誤差が大きくなり，再生画像の品質が低下することになる．また，T_s の値が大きすぎる場合も，スケーリングファクタにより誤差が拡大され，次第に再生画像の品質が低下することになる．

したがって，図6より，誤差の縮小要素が得られるスケーリングファクタが1以下という条件では，従来のドメインブロック評価関数における最高の画品質を得ることはできないことが分かる．

また再生画像の SNR が最大となる T_s は，各画像において異なり，再生画像からしか分からないため，符

表2 スケーリングファクタの閾値 T_s と再生画像の SNR
Table 2 Scaling factor threshold T_s to SNR of the reconstructed image.

Image	SNR	T_s	SNR	T_s
Claire	41.00	1.0	42.07	2.76
Lenna	34.51	1.0	35.68	2.76
Miss America	40.65	1.0	40.82	2.76
Salesman	35.71	1.0	36.15	2.76
Table Tennis	32.00	1.0	32.72	2.76

表3 係数 K と再生画像の SNR
Table 3 SNR of the reconstructed image for coefficient K.

Image	SNR	K	SNR	K
Claire	42.21	1.23	42.18	1.6
Lenna	35.80	1.76	35.78	1.6
Miss America	41.28	1.54	41.28	1.6
Salesman	36.24	1.66	36.23	1.6
Table Tennis	33.02	1.78	33.02	1.6

号化時においてSNRが最大となる T_s を得ることができない．したがって，経験的に T_s を決定することになる．この経験的な T_s の値として，5種類のテスト画像の平均値である2.76を用いる．**表2**は，従来のドメインブロック評価関数において，閾値 T_s を1とした場合と，経験的な値2.76とした場合の再生画像のSNRである．T_s を2.76とすることにより，$T_s = 1$ の場合に比べ0.71 ~ 1.17 dB 画質が向上している．

6.2 提案するドメインブロック評価関数により得られる画品質

まず，提案するドメインブロック評価関数を用いたフラクタル画像符号化によって得られる，再生画像のSNRを示す．

表3は，提案する評価関数において，表1に示した各画像からそれぞれ求めた K の値を用いた場合とその平均値1.6を用いた場合の再生画像のSNRである．

表3より，ドメインブロック評価関数に，各画像から得られる K の値を用いた方が，一定の K の値を用いた場合より，再生画像のSNRは高くなっている．しかし K に一定の値を用いても，再生画像のSNRは0.00 ~ 0.03 dB 低下するのみであり，ほぼ同等の画質を得ることができた．

次に，符号化処理時の最適ドメインブロックの選択に，提案するドメインブロック評価関数を用いた場合と従来のドメインブロック評価関数を用いた場合の再生画像のSNRの比較を**図7**に示す．従来の評価関数におけるスケーリングファクタの閾値 T_s を1とした場合と，2.76とした場合の 再生画像の SNR と比較している．提案する評価関数における，復号化誤差とスケーリングファクタの関係を表す K の値は，5種類の画像における平均値の1.6を用いている．

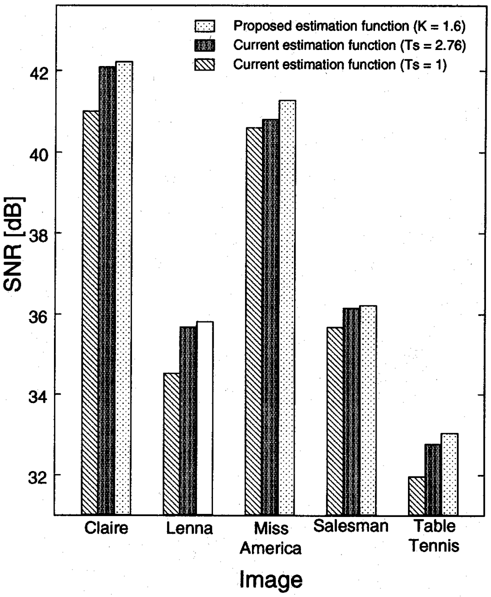


図7 提案する評価関数と従来の評価関数の再生画像の画品質の比較
Fig. 7 Comparison of the reconstructed image quality between proposed estimation function and current estimation function.

図7より，提案するドメインブロック評価関数を用いた場合，T_s を1とした従来のドメインブロック評価関数を用いた場合よりも，再生画像の画品質において0.52 ~ 1.27 dB 向上している．さらに，T_s を2.76とした従来のドメインブロック評価関数を用いた場合よりも，0.08 ~ 0.45 dB 向上している．

これより，提案するドメインブロック評価関数を用いることによって，従来のドメインブロック評価関数を用いる場合より，レンジブロックを再生するのに適したドメインブロックを最適ドメインブロックとして選択することができることが分かる．

図8は“Salesman”の原画像である．**図9**は，提案する評価関数を用いた場合の再生画像で，良好な再生画像を得ることができた．

以上のシミュレーションの結果より，提案するドメインブロック評価関数を用いることによって，従来のドメインブロック評価関数を用いるより，高品質の再生画像を得ることができた．

また処理時間に関しては，提案するドメインブロック評価関数は，式(6)に示すように従来の評価関数に，復号化誤差の大きさを評価する項を追加したものであるため，理論的に計算量は増加する．しかし，その項

図8 原画像（Salesman）
Fig. 8 Original image (Salesman).

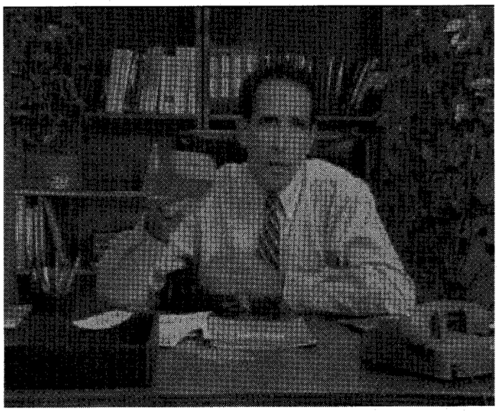


図9 提案法の再生画像（Salesman）
Fig. 9 The reconstructed image of proposed method (Salesman).

の計算は，特別に複雑な計算を必要としないため，実際の符号化時間の増加量はわずかであった．

7. おわりに

フラクタル画像符号化の符号化処理において，最適ドメインブロックの選択に用いる，新しいドメインブロック評価関数を提案した．

まず，従来のドメインブロック評価関数の問題点を述べ，より優れたドメインブロック評価関数を得るために，フラクタル画像符号化において生じる誤差の解析を行った．そして，フラクタル画像符号化の再生画像には，レンジブロックと原画像の最適ドメインブロックのパターンの不一致が原因で生じる符号化誤差と，原画像の最適ドメインブロックと再生画像の最適ドメインブロックのパターンの不一致が原因で生じる復号化誤差の2種類が含まれることを示した．そして，この符号化誤差と復号化誤差の2種類の和が最も小さいドメインブロックを最適ドメインブロックとして選択する新しいドメインブロック評価関数を提案した．

シミュレーション実験により，提案するドメインブロック評価関数を符号化処理に用いた方が，従来のドメインブロック評価関数を用いた場合よりも，0.52～1.27dB高い画品質が得られることを示した．

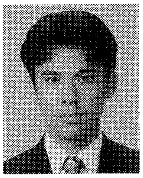
本論文では，提案するドメインブロック評価関数において，復号化誤差とスケーリングファクタの関係を簡単な比例関係によって表した．この関係式を改善することによって，より正確な復号化誤差の評価を行うことが可能となる．今後，さらに優れたドメインブロック評価関数の検討のため，提案するドメインブロック評価関数の復号化誤差の評価の項の検討を行う方針である．

参考文献

1) 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).
2) 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).
3) Beaumont, L.M.: Image Data Compression Using Fractal Techniques, *BT Technology*, Vol.9, No.4, pp.93–109 (1991).
4) Jacquin, A.E.: A Novel Fractal-coding Technique for Digital Images, *IEEE Intn. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, M8.2, Vol.4, pp.2225–2228 (1990).
5) Popescu, D.C. and Yan, H.: MR Image Compression Using Iterated Function Systems, *Magnetic Resonance Imaging*, Vol.11, No.5, pp.727–732 (1993).
6) Davoine, F., Antonini, M., Chassery, J.-M. and Barlaud, M.: Fractal Image Compression Based on Delaunay Triangulation and Vector Quantization, *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.5, No.2, pp.338–346 (1996).
7) Ogawa, H. and Nakagawa, M.: フラクタル関数に基づく画像の変換符号化，電子情報通信学会論文誌（A），Vol.J78-A, No.2, pp.236–243 (1995).
8) Barnsley, M.F.: *Fractals Everywhere*, Academic Press, New York (1988).
9) Pei, S.-C., Tseng, C.-C. and Lin C.-Y.: A Parallel Decoding Algorithm for IFS Codes With-

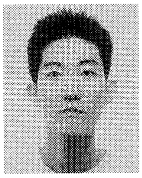
out Transient Behavior, *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.5, No.3, pp.411–415 (1996).

(平成11年4月7日受付)
(平成11年9月2日採録)



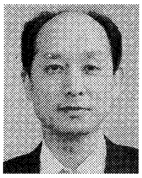
今村 幸祐

平成7年長崎大学工学部電気情報工学科卒業．平成9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．画像信号の高能率符号化，画像処理，ネットワーク，ロボットビジョン等の研究に従事．



田中 祐史

平成10年長崎大学工学部電気情報工学科卒業．同年同大学大学院工学研究科入学．画像信号の高能率符号科，画像処理，ネットワーク，ロボットビジョン等の研究に従事．



黒田 英夫（正会員）

昭和46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．平成元年より長崎大学工学部教授．その間平成6年シドニー大学客員教授．画像信号の高能率符号化，画像処理，ネットワーク，ロボットビジョン等の研究に従事，工学博士．