

非等長ブロック分割による濃淡画像符号化方式†

宮岡 伸一郎^{††} 白石 高 義^{††} 佐々木 良 一^{††}

画像データの蓄積・通信コスト低減のため、画像に内在する冗長性を抑圧して高能率符号化を行う、画像圧縮の技術が望まれている。本論文では、視覚特性を利用した比較的簡単な符号化・復号処理によって、高水準の圧縮性能を達成できる濃淡画像符号化方式を提案する。このような符号化を、画像を輝度変化の状況に応じて大きさの異なるブロックに分割する非等長ブロック分割と、符号化データの量子化ビット数をブロックサイズによって変える階層的ビット割当てにより実現している。非等長ブロック分割は、ブロック内の輝度を線形近似したときに発生する歪が許容値以下となるように行われ、このとき、ブロックの統合と呼ぶ方法を用いて、エッジの高度保存と処理の高速化を図っている。階層的ビット割当てでは、総ビット量一定の制約下で量子化歪を最小化する条件から、上記線形近似係数の量子化ビット数をブロックサイズの関数として定めている。ブロックの分割構造および量子化された近似係数は、Quad-Tree 構造に符号化される。シミュレーションの結果、高性能とされるコサイン変換符号化と同水準のビットレート対 S/N 比を達成できることを確認した。処理時間、それも特に実用上問題となる復号時間を短縮できること、また、画像上に文字・記号などが混在している場合の保存性が良いことなどの特長がある。

1. ま え が き

計算機の価格性能比の向上とメモリの低価格化にともない、OA, LA, FA などの各分野で画像データ利用のニーズが開けてきている。しかしながら画像は、数値データ、記号データに比べ極めてデータ量が多いため、これを生のまま扱うと多大のファイル蓄積コスト、通信コストを要するという問題が出てくる。そこで、画像データに内在する冗長性を抑圧して高能率符号化を行う、いわゆる画像圧縮の技術が重要となってきた。

濃淡画像の符号化方式としては、予測符号化、変換符号化、ベクトル量子化、ブロック符号化など種々の方式が提案されており^{1),2),6)}、またこれらのハイブリッド化の研究も進められている^{3),4)}。これらの方式のなかで、ビットレートが 1 bit/pel 以下の高い圧縮率を達成できる方式として、コサイン変換符号化とベクトル量子化があるが、ともに予測符号化などに比べ、符号化・復号処理の時間が長くハード化のコストが大きくなるという難点がある²⁾。また、ビットレート対 S/N 比の意味で最も性能が良いと思われるコサイン変換符号化の場合、低周波成分へのエネルギー集中率が悪い画像、たとえば文字、記号などの線画が混在している画像において、高周波成分の打ち切りにともない線画の部分かぼけるという問題が指摘されている⁴⁾。

本論文では、比較的簡単な符号化・復号処理でコサ

イン変換符号化と同レベルのビットレート対 S/N 比を達成でき、また上記線画の保存に関しても有効な方式として、非等長ブロック分割に基づく符号化方式を提案する。本方式は、視覚特性を利用し、エッジ部分と平坦部分で、空間解像度と濃淡階調解像度の保存に関し重み付けを変えることを特徴としており、これを、画像の非等長ブロック分割と量子化時の階層的ビット割当てにより実現している。以下、第2章では、符号化・復号方式について、第3章では、本符号化方式の特性評価について述べる。

2. 符号化方式

本章では、非等長ブロック分割の考え方、およびこれに基づく濃淡画像の符号化・復号方式について述べるが、これに先立ち、人間の視覚特性との関連から、符号化方式構築の方針について論じておくこととする。人間の視覚は、画像の輝度変化の激しいエッジ部で濃淡階調に対する分解能が低下し、逆に輝度変化の緩やかな平坦部では階調分解能が向上するという性質がある⁵⁾。また、画像内容の認識という面から見ると、エッジの形状が極めて重要な役割を果たしていることが指摘でき、このことは、線画化された画像によって原画の内容をある程度把握できることから分かる。以上のことから、画像データを高能率符号化する際、エッジ部と平坦部とは、階調解像度と空間解像度の保存に関し、重み付け変えることが考えられる。すなわち、エッジ部では階調解像度を犠牲にしても空間解像度を保持するようにし、逆に平坦部では、空間解像度を犠牲にして階調解像度を保存するような符号化を

† Gray-scale Image Coding by Non-uniform Block Decomposition by SHIN'ICHIRO MIYAOKA, TAKAYOSHI SHIRAIISHI and RYŌ-ICHI SASAKI (Systems Development Laboratory, Hitachi Ltd.).

†† (株)日立製作所システム開発研究所

行うのである (図1参照). このような考え方に基づく符号化方式として, 以下で, 非等長ブロック分割による符号化方式を提案する.

2.1 ブロックの統合処理に基づく画像分割

画像を, 局所的な輝度変化の大小に応じて, 大きさの異なるブロック (非等長ブロック) に分割することを考える (図2参照). すなわち, エッジの部分では細かく, 一方, 平坦な部分では粗くブロック分割を行うのである. ブロック分割の基準には各ブロックの符号化, 復号後の歪を用い, この歪が許容値以下に保たれるように分割を行うものとする. ブロックの歪は, 次式で表される.

$$d_k = \sum_{ij} (f^*(i, j) - f(i, j))^2 / N_k^2 \quad (1)$$

ここに, d_k : ブロック k の歪, N_k : ブロック k 内の画素数, $f^*(i, j)$: 画素 (i, j) の復号輝度, $f(i, j)$: 画素 (i, j) の原画輝度であり, 和は, ブロック k 内のすべての画素についてとるものとする.

ブロックの形状は, 簡単のため正方形とし, ブロックの分割構造を, Quad-Tree⁹⁾ により記述できるようにしている (図3参照). Quad-Tree を用いた画像データ圧縮法については, 2値画像を主たる対象として種々の研究がなされており^{9), 10)}, Quad-Tree 構造データの効率的な符号化, 復号にはこれらの結果を利用することができる. 各ブロックの符号化データは, Quad-Tree の対応する葉の部分に格納されることになる.

ブロック分割の方法としては, トップダウン型とボトムアップ型が考えられる. トップダウン型では, まず画像全体に対し符号化, 復号後の歪を計算し, これが許容値を超えていれば画像を4分割する. さらに, 分割後生成された各ブロックに対しても同様の処理を行い, 分割を進めていく. 歪が許容値以下のブロックが現れれば, そのブロックについては分割を停止する. これに対し, ボトムアップ型では, 画素レベルから出発し, 四つのブロックを統合したときの歪を計算して, これが許容値以下であれば実際に統合ブロックを生成する. 統合ブロックに対しても同様の処理を行い, 歪が許容値を超えるまでブロックの統合を進めていくことにより, 画像の分割を行うのである. 階層的符号化手法⁹⁾ 等では, トップダウン型の分割が使われているが, ここでは, 以下の2点の理由によりボトムアップ型の分割を用いることとする.

(1) トップダウン型の分割では, 初期段階において, ブロック内の全画素数に比べエッジを構成する画

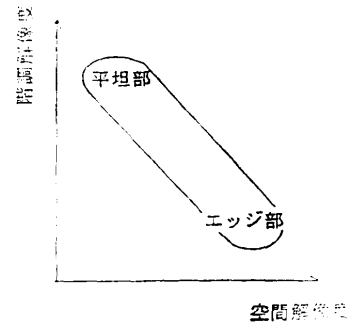


図1 視覚特性に基づく符号化の方針
Fig. 1 Image coding policy based on visual perception.

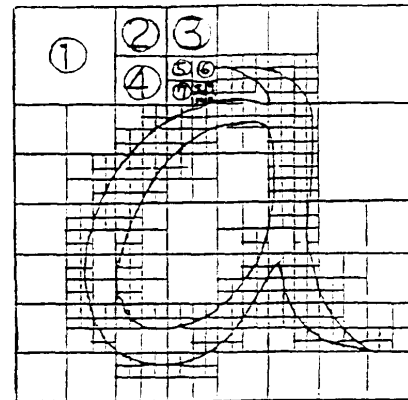


図2 非等長ブロック分割
Fig. 2 Non-uniform block decomposition of image.



図3 Quad-Tree による記述
Fig. 3 Quad-Tree description.

素の数が少ないため, エッジの存在が無視されて分割が停止することがある. これは, エッジ保存という点から望ましくない. これに対しボトムアップ型では, 2×2 サイズのブロックから統合時の歪判定を行っていくので, エッジが無視されることがない.

(2) トップダウン型の分割では, 分割の各レベルで歪の計算に画素対応の演算を必要とし, 計算量は最悪の場合 $O(N^2 \log_2 N)$ となる. ここで, N は画像の一辺の画素数である. これに対しボトムアップ型では, 符号化方式を適切に選択すれば, 直下の4ブロッ

クの符号化データ，歪から統合ブロックの符号化データ，歪を計算する漸化式を導くことができるので，計算量は $O(N^2)$ で済み符号化処理の高速化が図れる。

ブロックの統合は，直下の4ブロックがすべて統合済みのブロックであり，かつ，式(1)で定義された歪が，次式

$$d_k \leq D \quad (2)$$

を満足するとき実施するものとする。ここに， D は歪の許容値で，外部から設定する値である。

次節では，以上の議論に基づき，ブロック統合処理と親和性の良いブロック内の符号化方式について述べる。

2.2 ブロック内輝度の線形関数近似

ブロック内の輝度を線形関数で近似した後，この線形関数の係数を量子化し，符号化データとする。線形関数近似を用いる理由は，以下の2点である。第一は，前節で述べたように局所的な輝度変化の状況はブロック分割構造に反映されているので，ブロック内の輝度変化は線形関数で近似できる程度に単純なものにできるということである。なお，ノイズ除去への応用を目的としたものではあるが，局所的な輝度変化を線形関数で近似することの有効性については，Haralikらにより指摘されている¹³⁾。第二には，ブロック統合処理を行う際の，符号化データおよび歪を計算する漸化式を容易に導出できるという点である。

ブロック k の輝度を次式で近似するものとする。

$$\hat{f}(i, j) = \alpha_k(i - (N_k + 1)/2) + \beta_k(j - (N_k + 1)/2) + \gamma_k \quad (3)$$

ここに， α_k : i 軸方向輝度勾配， β_k : j 軸方向輝度勾配， N_k : ブロック k の一辺の画素数， γ_k : ブロック k の平均輝度であり，

$$\gamma_k = \sum_{ij} f(i, j) / N_k^2 \quad (4)$$

となる。最適な近似は，2乗誤差を最小化する条件から導かれ，このときの歪は，

$$d_k = \min_{\alpha_k \beta_k} \sum_{ij} (\hat{f}(i, j) - f(i, j))^2 / N_k^2 \quad (5)$$

と表せる。この歪を，前節で述べたブロック統合の判定指標として用いることにする。

まずブロックサイズが 2×2 のとき，式(5)を満足する勾配，歪は次式で計算できる。なお，簡単のため，ブロックを表す添字は省略している。

$$\alpha = (f_2 - f_1 + f_4 - f_3) / 2 \quad (6)$$

$$\beta = (f_3 - f_1 + f_4 - f_2) / 2 \quad (7)$$

$$d = (f_2 + f_3 - f_1 - f_4)^2 / 16 \quad (8)$$

ここに， $f_1 \sim f_4$ は，ブロックを構成する四つの画素の

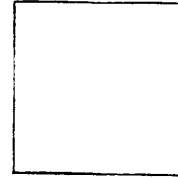
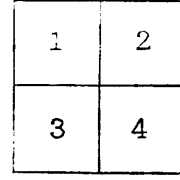


図4 ブロックの統合
Fig. 4 Block unification.

輝度で，図4に示すように添字付けを行っている。一般に， $2^E \times 2^E$ サイズのブロックの場合，式(5)を満足する勾配，歪は，直下の4ブロック ($2^{E-1} \times 2^{E-1}$ サイズ) の勾配，歪から次の漸化式を用いて計算できる (付録1参照)。

$$\alpha = (A_E - 1 / A_E) \sum_k \alpha_k + (2^{2E-2} / A_E) \sum_k s_k \gamma_k \quad (9)$$

$$\beta = (A_E - 1 / A_E) \sum_k \beta_k + (2^{2E-2} / A_E) \sum_k t_k \gamma_k \quad (10)$$

$$d = \sum_k (d_k + \gamma_k^2) / 4 + (A_E - 1 / 4^{E-1}) \sum_k (\alpha_k^2 + \beta_k^2) - \gamma^2 - (A_E / 4^{E-1}) (\alpha^2 + \beta^2) \quad (11)$$

$$\gamma = \sum_k \gamma_k / 4 \quad (12)$$

ここに， k は直下のブロックを示す添字で，図4に示す添字付けをしており，式(9)~(12)の和はすべて， $k=1 \sim 4$ についてとるものとする。 A_E は，ブロックのサイズによって定まる係数で，次式となる。

$$A_E = 4^E (4^E - 1) / 3 \quad (13)$$

また， s, t は， $s_1 = s_3 = -1, s_2 = s_4 = 1, t_1 = t_2 = -1, t_3 = t_4 = 1$ の値をとる係数である。

式(9)~(12)を用いることにより， α, β, γ, d は直下の4ブロックの値から漸化的に計算することが可能となり，画素対応の演算は 2×2 サイズのブロックを除いて不要となる。図5に，本漸化式のデータフローを示す。

2.3 階層的ビット割当てと量子化

前節の方式で求めた α, β, γ を一様量子化¹⁴⁾ しブロックの符号化データとする。このとき，量子化ビット数をブロックのサイズによって可変となるようにし，総符号量が一定の制約下で量子化歪を最小とするようなビット割当てを行うものとする。このようなビット

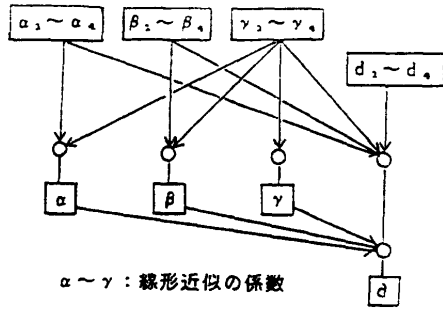


図 5 漸化式のデータフローグラフ
Fig. 5 Data flow graph of recurrence formula.

割当てが、本章の冒頭で述べた、エッジ部分での階調解像度を低下させ、平坦部分で階調解像度を高く保つという性質を持つということは、後で明らかにする。ビット割当てを決定する準備として、 α, β をブロックサイズ $2^{\xi} \times 2^{\xi}$ に従いスケーリングし、とりうる値が γ と同じレンジに入るようにしておく。

$$\alpha' = 2^{\xi-1} \alpha, \beta' = 2^{\xi-1} \beta \quad (14)$$

このようにして得られた α', β' を改めて α, β と呼ぶことにする。

α, β, γ の量子化誤差をそれぞれ $e_{\alpha}, e_{\beta}, e_{\gamma}$ とすれば、ブロックの量子化歪 e は、式(5)の d を用いて次式で表せる。

$$e = d(\alpha + e_{\alpha}, \beta + e_{\beta}, \gamma + e_{\gamma}) - d(\alpha, \beta, \gamma) \quad (15)$$

式(15)を $e_{\alpha}, e_{\beta}, e_{\gamma}$ について展開したとき、式(5)の歪最小条件から $\partial d / \partial \alpha = 0, \partial d / \partial \beta = 0, \partial d / \partial \gamma = 0$ となるので1次の項は0となり、式(15)は以下ようになる。ただし、導出には式(3)、(5)を用いている(付録2参照)。

$$e(e_{\alpha}, e_{\beta}, e_{\gamma}) = (1 - 1/4^{\xi}) e_{\alpha}^2 / 3 + (1 - 1/4^{\xi}) e_{\beta}^2 / 3 + e_{\gamma}^2 \quad (16)$$

画像全体での量子化歪 E は、式(16)を用いることにより次式で表すことができる。

$$E = \sum_{\xi=0}^M 4^{\xi} n_{\xi} (e_{\alpha\xi}, e_{\beta\xi}, e_{\gamma\xi}) / N^2 \quad (17)$$

ここに、 n_{ξ} : $2^{\xi} \times 2^{\xi}$ サイズのブロックの総数、 N : 画像の一辺の画素数、 $M = \log_2 N$ であり、また、 $e_{\alpha}, e_{\beta}, e_{\gamma}$ はブロックサイズにより値が変わるので、添字 ξ を付けている。次に、 α, β, γ への割当てビット数を、ブロックサイズ別に $b_{\alpha\xi}, b_{\beta\xi}, b_{\gamma\xi}$ と記せば、一様量子化の場合平均的に、以下の関係

$$|e_{\alpha\xi}| = K 2^{-b_{\alpha\xi}}, |e_{\beta\xi}| = K 2^{-b_{\beta\xi}}, |e_{\gamma\xi}| = K 2^{-b_{\gamma\xi}} \quad (18)$$

が成立する。ここに、 K は原画の階調ビット数により定まる定数である。式(18)を式(17)に代入すれば、 E

は $b_{\alpha\xi}, b_{\beta\xi}, b_{\gamma\xi}$ ($\xi = 0, \dots, M$) の関数として表すことができるので、これを $E(b_{\alpha}, b_{\beta}, b_{\gamma})$ と記すことにする。

以上の準備のもとで、ビット割当て問題は次式のように定式化できる。

$$\min_{b_{\alpha}, b_{\beta}, b_{\gamma}} E(b_{\alpha}, b_{\beta}, b_{\gamma}) \quad (19)$$

$$\text{s. t. } \sum_{\xi=0}^M n_{\xi} (b_{\alpha\xi} + b_{\beta\xi} + b_{\gamma\xi}) = \text{const.} \quad (20)$$

ここで、ラグランジュアン

$$L = E(b_{\alpha}, b_{\beta}, b_{\gamma}) + \lambda \sum_{\xi=0}^M n_{\xi} (b_{\alpha\xi} + b_{\beta\xi} + b_{\gamma\xi}) \quad (21)$$

を導入し、式(16)、(17)を適用した後、停留条件を導けば、ビット割当て式

$$b_{\alpha 0} = 0, b_{\alpha\xi} = \xi - 0.8 + c \quad (\xi = 1, \dots, M) \quad (22)$$

$$b_{\beta 0} = 0, b_{\beta\xi} = \xi - 0.8 + c \quad (\xi = 1, \dots, M) \quad (23)$$

$$b_{\gamma\xi} = \xi + c \quad (\xi = 0, \dots, M) \quad (24)$$

が得られる(導出については付録3参照)。ただし導出にあたっては、式(16)において、 $\xi \neq 0$ のとき $1 - 1/4^{\xi} \approx 1$ の近似を行っている。式(22)~(24)において、 c は定数であり、量子化歪制御用のパラメータとして用いる。

式(22)~(24)で求めた $b_{\alpha\xi}, b_{\beta\xi}, b_{\gamma\xi}$ を四捨五入して整数化した値を割当てビット数とし、一様量子化を行う。ただし、原画の階調ビット数を超えた場合、また負となった場合はそれぞれ、原画の階調ビット数、0を割り当てるものとする。

以上で導いたビット割当て式は、ブロックの一辺のサイズが倍になったとき、割当てビット数を1ビット増やすことを意味している。この結果、細かくブロック分割されるエッジ部では階調解像度を低下させ、粗くブロック分割される平坦部では階調解像度を高めるという結果になり、本方式は本章の冒頭で述べた性質を満足するものとなっている。

2.4 Quad-Tree 符号化

前述したように、ブロック分割構造を Quad-Tree で表現し、ブロックの符号化データ α, β, γ を、Quad-Tree の対応する葉の部分に格納する。Quad-Tree は、分岐ノードと葉ノードを識別するための1ビットを付加し、depth-first 構造で順序付けすれば、ポインタを用いることなく効率的に1次元データ列として記述できる⁹⁾。このとき、符号化に必要なビット数 B は、識別ビットも含めて次式となる。

$$B = \sum_{\xi=1}^M \{n_{\xi} (b_{\alpha\xi} + b_{\beta\xi} + b_{\gamma\xi} + 1) + m_{\xi}\} + n_{0b0} \quad (25)$$

ここに、 m_ξ : 階層 ξ (最下層を $\xi=0$, ルートノードを $\xi=M$ とする) の葉ノードの数 ($2^\xi \times 2^\xi$ サイズのブロックの数), m_ξ : 階層 ξ の分岐ノードの数であり, $b_{\alpha\xi}$, $b_{\beta\xi}$, $b_{\gamma\xi}$ については整数化した値を用いている. なお, 最下層すなわち $\xi=0$ では, 分岐ノードが存在しないこと, したがって識別ビットが不要なことを注意しておく.

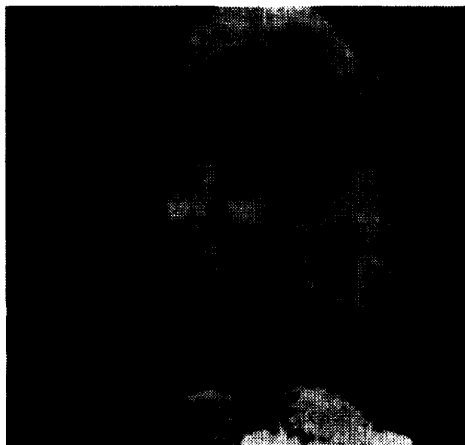
2.5 復号

Quad-Tree をデコードして, 各ブロックの4頂点の座標および符号化データ α, β, γ が得られる. α, β, γ をビット割当て情報に基づき逆量子化した後, 式(3)を用いて該ブロック内部の輝度を復号する. 全ブロックの復号が終了すれば復号画像が得られるわけであるが, このようにして得られた画像では, ブロック境界が目立つ場合がある. そこで, ブロック境界部の平滑化を行う. ただし, 小ブロックはエッジを表しているので平滑化の対象からはずすこととし, 4×4 以上のサイズのブロックに対してだけ, 境界部にブロックサイズに応じたサイズ (3×3 , 5×5 など) の平均化フィルタをかけるものとする.

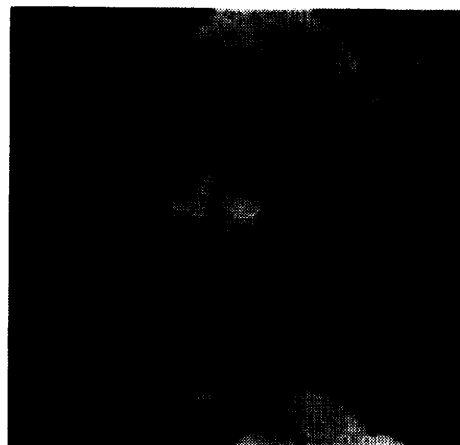
3. シミュレーションによる特性評価

標準画像データベース SIDBA の GIRL および MOON (ともに 8 bit/画素, 256×256 サイズ) を対象に本符号化方式のシミュレーションを実施し, 特性評価を行った. なお, ビット割当て式(22)~(24)のパラメータ c は, ブロックサイズ 1×1 のときの量子化歪の平均が許容歪と等しくなるように, 次式

$$c = 6 - \log_2 \sqrt{D} \quad (26)$$



(a) 1.31 bit/pel 35.7 dB



(b) 0.52 bit/pel 30.9 dB

図 8 符号化・復号結果

Fig. 8 Coding and decoding results.

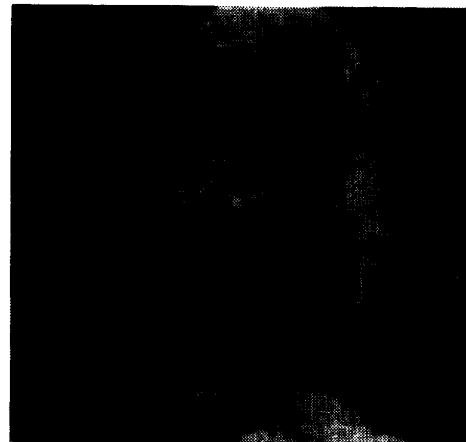


図 6 原画 (SIDBA GIRL)

Fig. 6 Original picture (SIDBA GIRL).

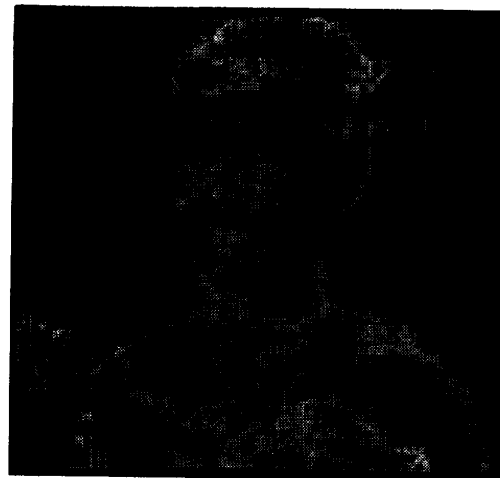


図 7 非等長ブロック分割結果

Fig. 7 Non-uniform block decomposition result.

により定めている。S/N 比は、次式により計算した。

$$S/N = 20 \log_2 (255/\sqrt{MSE}) \quad (27)$$

ここに、MSE: 原画と復号画の平均 2 乗誤差である。

3.1 ビットレート対 S/N 比

SIDBA GIRL の原画および非等長ブロック分割結果の一例を、それぞれ図 6, 7 に示す。図 7 は、許容歪 D を 144 としたときの分割であり、ブロックの総数は 4,492 となっている。図 8 (a), (b) には、それぞれ $D=36$, $D=144$ のときの符号化、復号結果を示す。 $D=36$ (図 8 (a)) のとき、約 1/6 程度の圧縮を行っているが、劣化はほとんど目立たず髪の部分、背景部でいくらかのぼけが感じられる程度である。 $D=144$ (図 8 (b)) では圧縮率 1/15 となり、全体にぼけが目立つようになるが、顔の部分などエッジが支配的なところは比較的良く保存されている。

D の値を種々変えたときのビットレート対 S/N 比の関係を、図 9 (GIRL)、図 10 (MOON) に示す。図 9 では階層的ビット割当ての効果を見るため、全符号化データに一律 8 bit 割り当てたときの結果を合わせて示している。階層的ビット割当てを行うと、8 bit 割当

の場合に比べ、同一ビットレートで S/N 比が 4 dB 程度向上しており、階層的ビット割当ての効果が大いことが分かる。

また、本方式と文献 7) に準じた離散コサイン変換符号化 (ただし AC エネルギーによるブロックのクラス分けは行っていない。ブロックサイズは 16×16) との比較結果を、図 9, 10 に示す。同一ビットレートでの S/N 比で、GIRL の場合 1.5~2 dB 程度、MOON の場合平均 0.5 dB 程度性能が向上していることが分かる。文献に発表されている他方式と比較した場合 (SIDBA GIRL に対する評価結果)、コサイン変換とベクトル量子化のハイブリッド方式³⁾ に比べ 1~2 dB 程度、また階層的符号化方式⁵⁾ に比べ 1 dB 程度性能が向上している。しかし、AC エネルギーによりブロックのクラス分けを行っているアダプティブコサイン変換符号化⁷⁾ に比べると、約 1 dB 程度及ばないという結果が得られている。

以下では実験結果を踏まえ、本符号化方式とアダプティブコサイン変換符号化方式の特性の違いを定性的に述べておく。本方式では、圧縮率を上げていくと、

平坦部がぼけていくという形で劣化が進む。これに対しアダプティブコサイン変換符号化では、粒状雑音の発生、ブロック境界の発生という形で劣化が進んでいく。視覚的には、GIRL の画像の場合、本方式による復号画像の方がきれいな印象を与えるが、S/N 比で評価した場合の原画忠実度という意味ではアダプティブコサイン変換符号化の方が勝っているといえる。しかし、アダプティブコサイン変換符号化には、画像上に文字などの線画が入っている場合線画の部分がぼけるという難点 (高周波成分の打ちりに起因する) がある。これに対し、本符号化方式では、輝度変化の激しい線画の部分が細かくブロック分割され保存されるので、このようなぼけを防ぐことができる。

3.2 符号化・復号時間

シミュレーションは、VAX 11/780 上で行った。符号化、復号処

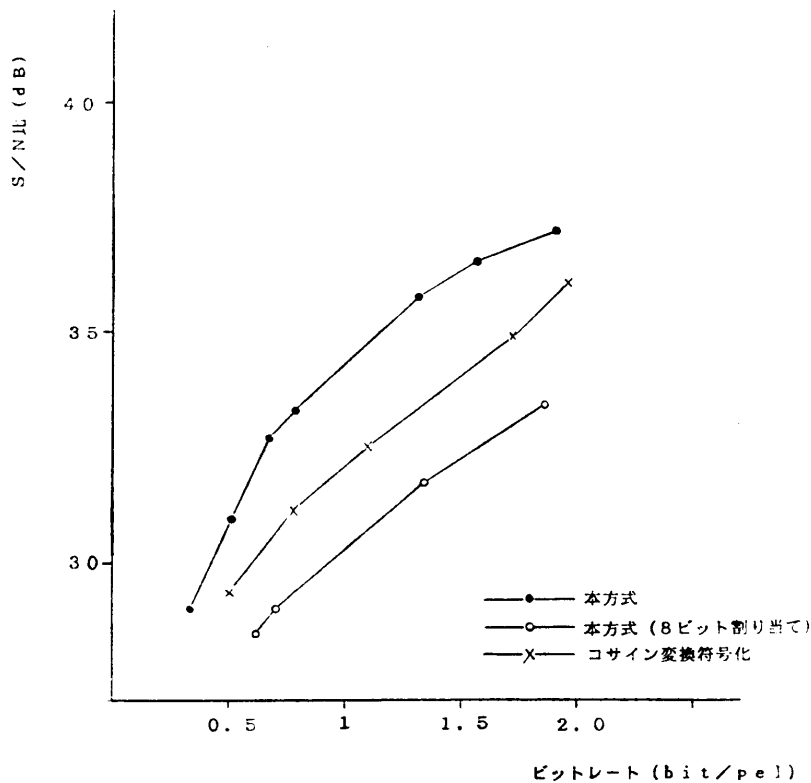


図 9 ビットレート対 S/N 比 (GIRL)
Fig. 9 Bit/pel versus S/N ratio (GIRL).

理に要する時間は、許容歪 D の設定により若干変化するが、 $D=9$ の場合、 512×512 画像でそれぞれ、67秒、10秒である。一方、アダプティブコサイン変換では同一画像に対し、それぞれ115秒、134秒という結果が得られている。したがって、本符号化方式は、アダプティブコサイン変換に比べ、符号化で約1/2、復号で1/13の処理時間となる。ただしここで、復号時には第2.5節で述べた平滑化処理は含めていない。平滑化処理を含めた場合の復号時間は18.8秒となり、アダプティブコサイン変換符号化の復号時間の約1/7となる。実用上問題となるのは復号時間なので、上記復号時間の短縮は意味がある。専用ハード化にあたっては、少ない物量での実現が可能になると予想される。

4. むすび

濃淡画像の符号化方式を提案し、特性評価を行った結果について述べた。本方式は、視覚特性を利用し、エッジ部分では空間解像度の保持に、また平坦部分では濃淡階調解像度の保持に力点を置いた符号化を行うことを特徴としている。このような符号化を、画像を局所的な輝度変化の大小に応じて大きさの異なるブロックに分割する非等長ブロック分割と、ブロックサイズの大小に応じて量子化ビット数を変える階層的ビット割当てにより実現した。

シミュレーションによる特性評価の結果、ビットレート対S/N比の意味で、高性能とされているコサイン変換符号化と同レベルの性能であることを確認した。処理が比較的簡単のため、処理時間、特に実用上重要な復号時間を短縮できること、また、画像上に文字・記号などの線画が混在している場合の保存性が良いことなどの特長がある。

謝辞 本研究の方向付けをしていただいた、(株)日立製作所システム開発研究所 川崎淳所長、同 井原廣一副所長、同第一部 春名公一部長、および有益な御助言をいただいた(株)日立製作所中央研究所第五部 阿知葉征彦博士に感謝の意を表します。

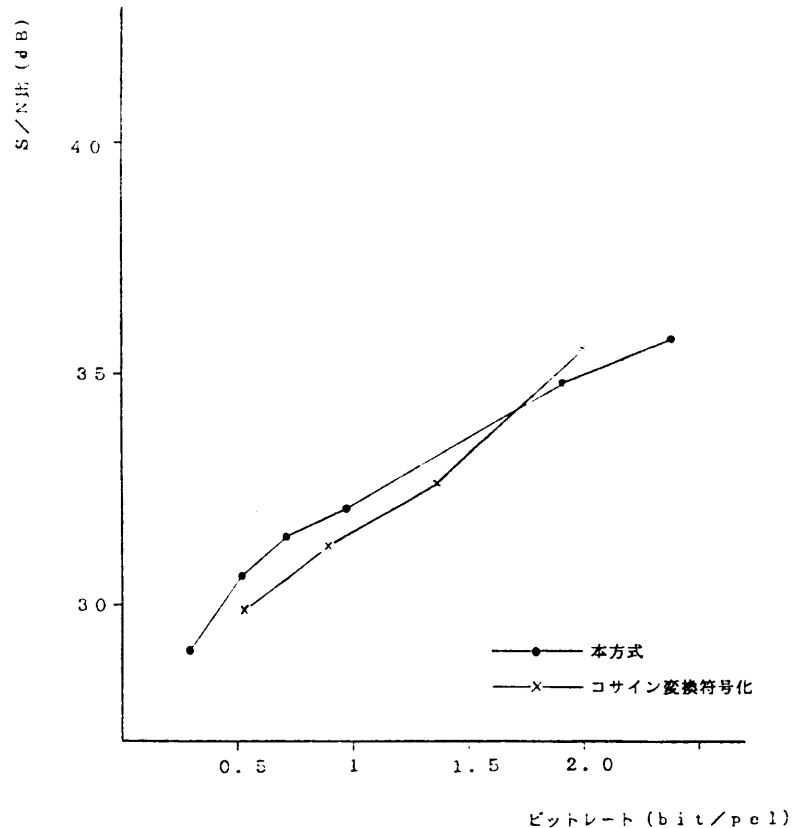


図10 ビットレート対S/N比(MOON)
Fig. 10 Bit/pel versus S/N ratio (MOON).

参考文献

- 1) Jain, A.K.: Image Data Compression: A Review, *Proc. IEEE*, Vol. 69, No. 3, 349-389 (1981).
- 2) 保坂ほか: 静止画像用符号化方式の比較検討, *信学技報*, IE 83-106, pp. 45-52 (1983).
- 3) 相沢ほか: 離散のコサイン変換を用いた画像のベクトル量子化, *信学技報*, IE 84-86, pp. 65-71 (1984).
- 4) Lo, S.-C. et al.: Radiological Image Compression: Full-Frame Bit-Allocation Technique, *Radiology*, Vol. 155, No. 3, pp. 811-817 (1985).
- 5) 安田ほか: 階層的符号化法による静止画像の段階的伝送および表示, *信学論*, Vol. J 63-B, No. 4, pp. 379-386 (1980).
- 6) 斎藤ほか: 画像データベース用の高階調画像信号の情報保存型伝送方式, *信学論*, Vol. J 68-B, No. 1, pp. 61-68 (1985).
- 7) Chen, W. et al.: Adaptive Coding of Monochrome and Color Images, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-25, No. 11, pp. 1285-1292 (1977).
- 8) Rosenfeld, A. et al.: *Digital Picture Processing* (Second Edition), Academic Press, New

- York (1982).
 9) Cohen, Y. et al.: Hierarchical Coding of Binary Images, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Vol. PAMI-7, No. 3, pp. 284-298 (1985).
 10) Gargantini, I. et al.: An Effective Way to Represent Quadtrees, *Comm. ACM*, Vol. 25, No. 12, pp. 905-910 (1982).
 11) Haralick, R.M. et al.: A Facet Model for Image Data, *Comput. Gr. Image Process.*, Vol. 15, pp. 113-129 (1981).

付録 1 式(9)~(11)の導出

まず式(9)の導出を行う。式(5)の最小化条件および式(3)から次式が成立する。ただし、添字 k は省略している。

$$N^2(N^2-1)\alpha = 12 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i-(N+1)/2) \times f(i, j) \quad (A.1)$$

ここで、 $\sum_i (i-(N+1)/2) = \sum_j (j-(N+1)/2) = 0$ の性質を利用したことに注意しておく。直下の4ブロックを $k=1\sim 4$ で表すことにすれば、これらについても同様の式が成立する。すなわち、

$$\begin{aligned} (N^2/4)(N^2/4-1)\alpha_k &= 12 \sum_{i=1}^{N/2} \sum_{j=1}^{N/2} (i-(N+2)/4) \times f(i+u_k N/2, j+v_k N/2) \\ &= 12 \sum_{i=1+u_k N/2}^{N/2+u_k N/2} \sum_{j=1+v_k N/2}^{N/2+v_k N/2} (i-(N+1)/2) f(i, j) \\ &\quad + 3N(1-2u_k) \sum_{i=1+u_k N/2}^{N/2+u_k N/2} \sum_{j=1+v_k N/2}^{N/2+v_k N/2} f(i, j) \end{aligned} \quad (A.2)$$

となる。ここで、 $u_1=u_3=v_1=v_3=0$, $u_2=u_4=v_2=v_4=1$ である。式(A.1), (A.2)および

$$\gamma_k = (4/N^2) \sum_{i=1+u_k N/2}^{N/2+u_k N/2} \sum_{j=1+v_k N/2}^{N/2+v_k N/2} f(i, j) \quad (A.3)$$

から、

$$\begin{aligned} N^2(N^2-1)\alpha &= (N^2/4)(N^2/4-1) \sum_{k=1}^4 \alpha_k \\ &\quad + (3/4)N^3 \sum_{k=1}^4 (2u_k-1)\gamma_k \end{aligned} \quad (A.4)$$

ここで、 $N=2^{\xi}$, $s_k=2u_k-1$ とおけば、式(9)が得られる。

式(10), (11)の導出も同様の手順で行える。

付録 2 式(16)の導出

式(15)から、

$$\begin{aligned} e &= ((\partial^2 d/\partial \alpha^2) e_{\alpha}^2 + (\partial^2 d/\partial \beta^2) e_{\beta}^2 \\ &\quad + (\partial^2 d/\partial \gamma^2) e_{\gamma}^2 + 2(\partial^2 d/\partial \alpha \partial \beta) e_{\alpha \beta} \\ &\quad + 2(\partial^2 d/\partial \beta \partial \gamma) e_{\beta \gamma} \\ &\quad + 2(\partial^2 d/\partial \gamma \partial \alpha) e_{\gamma \alpha})/2 \end{aligned} \quad (A.5)$$

となる。ここで、式(3), (5), (14)および $N_k=2^{\xi}$ の関係を用いれば

$$\begin{aligned} \partial^2 d/\partial \alpha^2 &= (8/(2^{\xi})^4) \sum_{i=1}^{2^{\xi}} \sum_{j=1}^{2^{\xi}} (i-(2^{\xi}+1)/2)^2 \\ &= (2/3)(1-1/4^{\xi}) \end{aligned} \quad (A.6)$$

同様にして、

$$\partial^2 d/\partial \beta^2 = (2/3)(1-1/4^{\xi}) \quad (A.7)$$

$$\partial^2 d/\partial \gamma^2 = 2 \quad (A.8)$$

$$\partial^2 d/\partial \alpha \partial \beta = \partial^2 d/\partial \beta \partial \gamma = \partial^2 d/\partial \gamma \partial \alpha = 0 \quad (A.9)$$

式(A.6)~(A.9)を式(A.5)に適用すれば、式(16)が得られる。

付録 3 式(22)~(24)の導出

まず、 $\xi=0$, すなわちブロックサイズが 1×1 のとき、勾配データは存在しないので、 $b_{\alpha 0}=0$, $b_{\beta 0}=0$ となる。次に式(21)の停留条件より、

$$\partial L/\partial b_{\alpha \xi} = \partial L/\partial b_{\beta \xi} = 0 \quad (\xi=1, 2, \dots, M) \quad (A.10)$$

$$\partial L/\partial b_{\gamma \xi} = 0 \quad (\xi=0, 1, \dots, M) \quad (A.11)$$

となり、これに式(16)~(18)を適用すれば、

$$\begin{aligned} (\ln 4)(K^2/(3N^2))(1-1/4^{\xi})4^{\xi-b_{\alpha \xi}} \\ = (\ln 4)(K^2/(3N^2))(1-1/4^{\xi})4^{\xi-b_{\beta \xi}} \\ = (\ln 4)(K^2/N^2)4^{\xi-b_{\gamma \xi}} = \lambda \end{aligned} \quad (A.12)$$

が得られる。ここで、 $1-1/4^{\xi} \approx 1$ の近似を行い、

$$c = -\log_4(\lambda N^2/K^2 \ln 4) \quad (A.13)$$

とおけば、式(22)~(24)が得られる。

(昭和61年4月14日受付)

(昭和62年1月14日採録)

宮岡伸一郎 (正会員)



昭和25年生。昭和48年京都大学工学部数理工学科卒業。昭和50年同大学大学院修士課程修了。同年4月(株)日立製作所入社。システム開発研究所において、システム最適化、制御技術、画像符号化方式などの研究に従事。工学博士。電気学会会員。

**白石 高義 (正会員)**

昭和10年生。昭和34年同志社大学工学部電気学科卒業。昭和39年同大学大学院工学研究科博士課程修了。同年4月(株)日立製作所入社。コンピュータセキュリティ等の研究に従事。昭和61年12月(株)日立湘南電子に入社し、現在、通信機器の製品開発に従事。工学博士。電子情報通信学会、法とコンピュータ学会各会員。

**佐々木良一 (正会員)**

昭和22年生。昭和46年東京大学医学部保健学科卒業。同年4月(株)日立製作所入社。システム高信頼化技術、セキュリティ技術、ミックストメディアネットワークの運用技術等の研究に従事。現在、同社システム開発研究所第1部主任研究員。工学博士(東京大学)。昭和58年電気学会論文賞受賞。電気学会、電子情報通信学会、計測自動制御学会、IEEE 各会員。