

レート制御可能な静止画像の準可逆符号化方式

A Near-lossless Coding Scheme for Still Images with Rate Control Ability

坪井宣親*

宮元駿昂*

青森 久*

松田一朗*

伊東 晋*

Yoshimi TSUBOI

Toshitaka MIYAMOTO

Hisashi AOMORI

Ichiro MATSUDA

Susumu ITOH

1. はじめに

医療や芸術などの高品質な画像を取り扱う分野では、可逆符号化やそれに近い品質が保証される準可逆符号化が必要とされる。しかし、一般にこれらの符号化方式では許容誤差以外に符号化レートを調整する手段がなく、実用面で不便を感じることもある。そこで、文献[1][2]ではJPEG-LS[3]を拡張し、画面内に複数種類の許容誤差を混在させることで指定された符号化レート(指定レート)を実現する準可逆符号化方式を提案している。しかし、これらの方式はワンパス処理であるため画面全体で最適な歪みの配分を行うことができない。これに対して本稿では、画面内で2種類の許容誤差を混在させ、反復処理によって歪みの再配分を繰り返すことで、指定レートを実現する手法を提案する。

2. ブロック適応予測

本方式では、画像毎に設計した M 種類の線形予測器を 8×8 画素のブロック単位で適応選択している。ここで、 m 番目の予測器 ($m = 1 \sim M$) が選択されたブロックに属する注目画素 p_0 の予測値は、次式により算出される。

$$\hat{s}(p_0) = \sum_{k=1}^K a_m(k) \cdot \tilde{s}(p_k) \quad (1)$$

但し、 K は予測に用いる参照画素 p_k の数(予測次数)、 $a_m(k)$ は p_k に関する予測の重み(予測係数)、 $\tilde{s}(p_k)$ は画素 p_k の再生値をそれぞれ表している。図1に参照画素の配置の例 ($K = 20$) を示す。なお、予測係数及び予測器の選択情報は画像毎に最適化され復号側へ伝送される[4]。

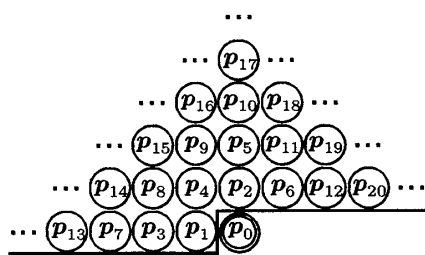


図1 参照画素の配置

3. 予測誤差の符号化

上記の手順で算出された予測誤差 $e = s(p_0) - \hat{s}(p_0)$ は、画素毎に設定された許容誤差の設定値 d に対応したステップ幅 $\Delta e = 2d + 1$ のミッドトレッド型線形量子化器で量子化され、コンテキストモデリングを用いて適応的に算術符号化される[5]。本方式ではコンテキスト n ($n = 1 \sim 16$) 毎に予測誤差の確率密度関数を次式の一

般化ガウス関数でモデル化している。

$$\tilde{P}(e|n) = \frac{c_n \eta(c_n, \sigma_n)}{2\Gamma(1/c_n)} \cdot \exp\left\{-|\eta(c_n, \sigma_n) \cdot e|^{c_n}\right\},$$

$$\eta(c_n, \sigma_n) = \frac{1}{\sigma_n} \sqrt{\frac{\Gamma(3/c_n)}{\Gamma(1/c_n)}} \quad (2)$$

但し、 $\Gamma(\cdot)$ はガンマ関数、 c_n は分布系を制御する形状パラメータ、 σ_n は標準偏差を表しており、 σ_n についてはコンテキスト n 毎に決められた固有の値を使用している。コンテキスト n は(3)式で定義される特徴量 U をしきい値 $Th_m(1), Th_m(2), \dots, Th_m(15)$ を用いて16レベルに量子化した値に対応している。

$$U = \sum_{k=1}^{12} \frac{1}{\delta_k} \cdot |\tilde{s}(p_k) - \hat{s}(p_k)| \quad (3)$$

上式において、 δ_k は注目画素 p_0 と参照画素 p_k の間のマンハッタン距離を表している。特徴量 U は予測の当りやすい平坦部では小さくなり、予測の当りにくい輪郭部では大きくなるため、その性質を利用し、人間の視覚感度が平坦部に比べて輪郭部に対して低いことを考慮した許容誤差 d の設定を行う。

$$d = \begin{cases} d_L & (U < R_{TH}) \\ d_H & (U \geq R_{TH}) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 R_{TH} はレート制御用のしきい値、 $d_L, d_H (= d_L + 1)$ はそれぞれ平坦部及び輪郭部用の許容誤差を表している。

4. レート制御可能な準可逆符号化

我々が文献[4][5]で提案した画面全体を任意の許容誤差 d で符号化する準可逆符号化方式では、まず予測係数及び予測器の選択情報の最適化を行い、その後、許容誤差 d の下で予測誤差の量子化操作を行い再生値 $\tilde{s}(p_k)$ を算出し、最後に付加情報も含めた総符号量が最小化するようにコンテキストモデリングのしきい値 $Th_m(n)$ 及び確率モデルの形状パラメータ c_n の最適化していた。これに対して、本方式では新たに2種類の許容誤差 $d_L, d_H (= d_L + 1)$ とレート制御用のしきい値 R_{TH} を用意し、画素毎の許容誤差の値を制御することでレート制御を可能としている。これらのパラメータは $Th_m(n)$ 及び c_n とあわせて(5)式で示される総符号量を近似したコスト関数 J_{d_L, d_H} の下で、 J_{d_L, d_H} の値が目標符号量 (= 指定レート [bits/pel] \times 画面内の画素数 [pel]) と等しくなるよう繰り返し最適化され、付加情報として符号化される。

*東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

$$J_{d_L, d_H} = - \sum_{p_0 \in R_L} \log_2 Pr'(e' | \hat{s}(p_0), n, d_L) - \sum_{p_0 \in R_H} \log_2 Pr'(e' | \hat{s}(p_0), n, d_H) + B_{side} \quad (5)$$

但し, R_L, R_H はそれぞれ画面内の許容誤差 $d = d_L$ 及び $d = d_H$ に設定された領域, $Pr'(e' | \hat{s}(p_0), n, d)$ は確率密度関数 $\tilde{P}(e|n)$ より算出される量子化後の予測誤差 e' の条件付生起確率 [5], B_{side} は付加情報の符号量を表している. 本方式では, まず画面全体を許容誤差 $d = d_H$ に設定した状態 ($R_{TH} = 0$) で, 符号化に用いる許容誤差 d_L, d_H を決定し, 続いて, 指定レートを実現するレート制御用のしきい値 R_{TH} の値を設定している. このとき, R_{TH} と符号量 ($\approx J_{d_L, d_H}$) は互いに単調増加と見なせるため, 二分法と同様の手法を用いて指定レートを実現する R_{TH} の値を求めることができる. 以下に具体的な処理手順を示す. なお, 図中の ΔR_{TH} はレート制御用のしきい値 R_{TH} の精度を表しており, ΔR_{TH} 及び R_{TH} の最大値はそれぞれ予備実験によって良好な性能を示した値に設定している. ($\Delta R_{TH} = 1/64$, R_{TH} の最大値 = 512)

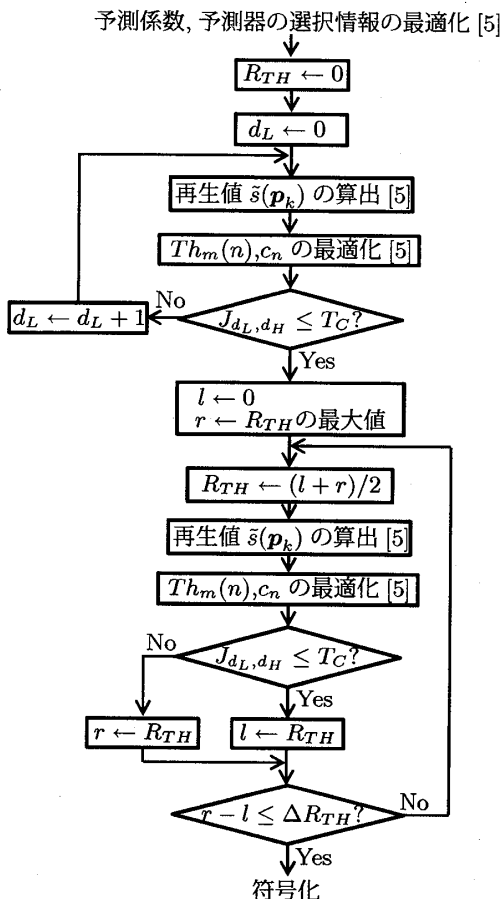


図2 処理手順

5. 特性評価とまとめ

本方式の符号化レートを表1に示し, 図3に画像 *Lenna* における符号化特性を示す. なお, 準可逆符号化と

は画面全体を任意の許容誤差 d で符号化する方式であり, 文献 [4] においてブロックサイズを 8×8 画素に固定した場合に等しい. これらの結果より, 高い符号化性能を保持しつつ概ね 0.1% 以内の精度でレート制御が可能であることを確認できる. しかし, 画像 *Shapes* では指定レート 0.550 [bits/pel] において, レート制御の精度が低下していることが確認できる. これは同じ特徴量 U の値を持つ画素が非常に多いため, レート制御用のしきい値 R_{TH} をわずかに変化させるだけで画素毎の許容誤差 d_L, d_H の選択状況が大きく変化してしまうためである. 今後はこのような画像においても高い精度でのレート制御を可能とする手法について更に検討する予定である.

表1 本方式の符号化レート [bits/pel]

Image (512 × 512 pels)	指定レート	符号化レート
<i>Airplane</i>	1.400	1.401
	2.000	2.001
	2.600	2.601
<i>Baboon</i>	2.400	2.401
	3.000	3.000
	3.600	3.601
<i>Lennagrey</i>	1.200	1.200
	1.800	1.801
	2.400	2.401
<i>Peppers</i>	1.800	1.799
	2.400	2.401
	3.000	3.000
<i>Shapes</i>	0.450	0.445
	0.550	0.539
	0.650	0.651

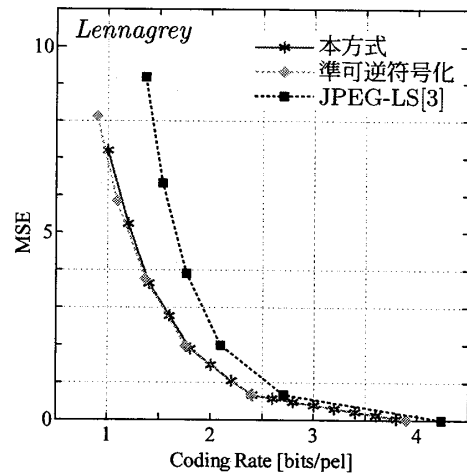


図3 符号化特性

【参考文献】

- [1] J.Jiang et al.: "A low cost design of rate controlled JPEG-LS near lossless image compression", *Image Vision Comput.*, vol.19(3), 2001
- [2] E.A.Edirisinghe et al.: "Variation of JPEG-LS to low cost rate control and its application in region-of-interest base coding", *Signal Process.*, vol.18(5), 2003
- [3] ISO/IEC, ISO/IEC 14495-1:1999, "Information technology - Lossless and nearlossless compression of continuous-tone still images: Baseline", 1999
- [4] 高橋 他: "画像毎に適応予測器と算術符号を最適化する準可逆符号化", *映像学年次大*, No.14-4, 2005
- [5] 高橋 他: "ブロック適応予測を用いた静止画像の準可逆符号化", *信学技報*, IE2007-278, Vol.106, No.608, pp.17-22, 2007