

RGB カラー静止画像の可逆予測符号化

†渡辺 洋三, ‡小林 正明, †鎌田 清一郎

†九州大学大学院 システム情報科学研究科

‡九州松下電器(株) ドキュメント研究所

†〒 812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

TEL:092-642-4070 E-mail:{yozo,kamata}@human.is.kyushu-u.ac.jp

あらまし RGB カラー静止画像を, R-, G-, B-画像の3つの画像に分けた場合, 各画像は高い相関を持つことが知られている. 本論文では, この性質を利用したRGB カラー静止画像の可逆符号化方式について述べる. 具体的には, R-, G-, B-画像毎に予測を行って算出された予測誤差データに対して各画像間の相関を利用した予測誤差の補正を行い, 次に, 予測誤差を画像の局所的な性質であるコンテキストによって分離し, コンテキスト毎に予測誤差の符号化を行う. 従来手法 LOCO-I, CALIC との比較実験の結果, 処理速度と圧縮効率において有効なことが確認された.

キーワード 予測誤差補正, コンテキスト分離, 可逆符号化, RGB カラー静止画像

Lossless Predictive Coding of RGB Color Still Images

†Yozo Watanabe, ‡Masa-aki Kobayashi, †Sei-ichiro Kamata

†Graduate School of Information Science and Electrical, Kyushu University

‡Document Technology Research Lab., Kyushu Matsushita Electric Co.,Ltd.,

†6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka-shi, 812-8581, Japan

TEL:092-642-4070 E-mail:{yozo,kamata}@human.is.kyushu-u.ac.jp

Abstract There are some correlations between the RGB color planes. In this paper, we propose a lossless compression technique for RGB color still images. The prediction errors obtained from each plane are modified using the correlation between each of the planes. The prediction errors are divided by the context which is the local property in the image and then we decode the prediction error on each context. High speed and high efficient coding is realized in comparison with LOCO-I, CALIC,

key words prediction error modification, context modeling, lossless coding, RGB color still image

1 はじめに

一般に, 画像情報は多くの冗長度を含み, 画像情報の効率的な伝送・蓄積のためにはこうした冗長度を削減する画像情報の圧縮が求められる. 画像圧縮技術を復元画像の情報の保存性に関して分類すれば, 圧縮された情報から完全に元の画像を

復元できる可逆圧縮と厳密には元の画像を復元できない非可逆圧縮とに分けられる.

非可逆圧縮は人間の検知できない程度の誤差は許容するため, 大幅な情報の圧縮を実現できる. しかし, 画像蓄積院内伝送システム(PACS)における医療画像, 地球観測衛星から伝送されるリモートセンシング画像, 歴史文化財・伝統文化資産を

高精細デジタルで記録し、これをデータベースで保管蓄積していくデジタルアーカイブなどの特定分野においては、圧縮により画像のもつ情報が失われることは望ましくなく、可逆圧縮が要求される。

こうした応用では、よくカラー画像が対象となる。カラー画像を表現する色空間はそれぞれ特有の性質を持つため、この性質を利用した高能率の符号化法が検討されている。RGB カラー画像の場合を例にとると、N.D.Memon et al. [8], A.Abrardo et al. [1] は符号化画素の予測値を求めるために、すでに符号化を終えた色空間上で最適な予測器を用いる手法を検討しており、G.Zamora et al. [3], 福間ら [9] は R-, G-, B-画像間の相関を取り除くためにカラー空間を変換する手法を検討している。

また、最近では、画像の局所的な相関を利用して効果的な符号化を行うために、コンテキストを用いた符号化が検討されている。コンテキストとは画像データの持つ局所的に異なる性質を指し、例えば、隣接画素の輝度値は、ある領域内では大きく変化しているが、別の領域内ではほとんど変化がない、といった性質がこれにあたる。コンテキストを用いて画像のモデル化を行い、符号化に応じた例 [5, 6, 10, 11] では、まず、マルコフモデルとして表現した画像において各画素値を予測する。次に、予測誤差により符号化画素を分離（コンテキスト分離）し、最後に、コンテキスト毎に最適なエントロピー符号化を適用している。こうしたマルコフモデルによる画像モデル化において、高次のマルコフモデルの使用は圧縮効率の向上につながる一方で、計算量やメモリ消費を増加させる。したがって、計算量およびメモリ消費の少ない効果的なモデルを構築することが重要となる。

なお、こうした従来法では濃淡画像に対する処理に留まり、色空間の相関を利用した処理は検討されていなかった。そこで、本稿では、RGB カラー静止画像に対するコンテキストによりモデル化を行う可逆圧縮手法を提案する。提案手法の検討課題は処理の高速化と圧縮効率の向上の2点にある。まず、コンテキスト分離による画像のモデル化の際、より低次の予測モデルを用いることで処理の高速化を図る。さらに、RGB カラー画像は G-, B-画像間および G-, R-画像間の相関が高いことを利用して圧縮効率の向上を図る。この結果、提案手法は従来法と比較して圧縮効率・処理速度と

もに優れた性能を示すことが期待される。

本論文の構成は以下の通りである。2節では、R-, G-, B-各画像間の冗長度を低減する手法について述べる。3節では、予測誤差を利用したコンテキスト分離の高速な計算法について述べる。4節では、処理速度および圧縮効率に関して従来と比較した実験結果を示し、5節でまとめる。

2 予測誤差補正

可逆圧縮技術において、予測符号化に基づく手法が多く用いられている。予測符号化とは、すでに復号されている信号から、次に入力されてくる信号を予測して、その予測がはずれた分を伝送することにより、画素間の冗長性を削減するものである。

JPEG Spatial 方式では、予測には図1に示すように、符号化画素 x の左上側の3つの画素 a, b, c が用いられる。また、符号化画素 x の予測値 \hat{x} を求めるための予測式は、表1に示す7種類が提案されているが、本手法では7番の予測式を用いる。

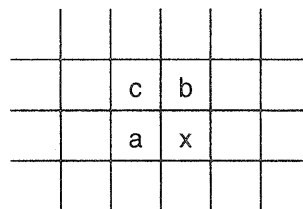


図1: 予測に用いる画素の配列

表1: 予測に用いる予測式

	予測式
1	$\hat{x} = a$
2	$\hat{x} = b$
3	$\hat{x} = c$
4	$\hat{x} = a + b - c$
5	$\hat{x} = a + (b - c)/2$
6	$\hat{x} = b + (a - c)/2$
7	$\hat{x} = (a + b)/2$

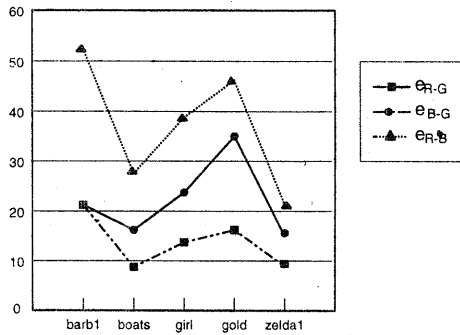


図 2: 各プレーン毎の予測符号化による各予測誤差の差分値の分散

一般に、R-, G-, B-各画像間には相関があることが知られている。このことから、各画像において同じ位置の画素の輝度値は近い値になる確率が高いので、R-, G-, B-各画像から得られる予測誤差に関してもまた相関が高いことが考えられる。そこで、R-, G-, B-各画像間の予測誤差の相関を調べる。ここで、R-, G-, B-各画像における予測誤差をそれぞれ $e_R (= x_R - \hat{x}_R)$, $e_G (= x_G - \hat{x}_G)$, $e_B (= x_B - \hat{x}_B)$ とすると、これは、R-, G-, B-各画像間の予測誤差の差 $e_{R-G} (= e_R - e_G)$, $e_{B-G} (= e_B - e_G)$, $e_{R-B} (= e_R - e_B)$ の分散によって知ることができる。

そこで、5枚の画像について、各画像間の予測誤差の分散を求めた。図2から、各画像間の予測誤差の分散には、 $e_{B-G} < e_{R-G} < e_{R-B}$ という関係が成立しており、R-, G-, B-各画像間の予測誤差の相関は、B-画像の予測誤差とG-画像の予測誤差、R-画像の予測誤差とG-画像の予測誤差、R-画像の予測誤差とB-画像の予測誤差の順に高いことがわかる。

そこで、R-, G-, B-各画像間の予測誤差の相関を利用して、 e_R , e_B に対して予測誤差の補正を行う。これは、式(1)のように、それぞれ e_R , e_B から e_G を減じたものを新しい予測誤差とするものである。

$$\begin{cases} e_{R-G} = e_R - e_G \\ e_{B-G} = e_B - e_G \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 e_{G-R} , e_{G-B} を補正された予測誤差と呼ぶ。予測誤差の補正を行うことによって各画像間の冗長性を取り除くことができ、より効率の良い符

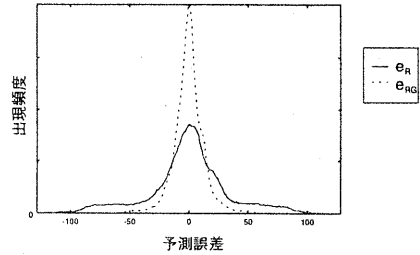


図 3: 予測誤差 e_R と補正された予測誤差 e_{RG} のヒストグラム

号化が期待できる。最終的には e_G と補正された予測誤差である e_{G-R} , e_{G-B} に対してエントロピー符号化を行う。

図3は予測誤差 e_R と予測誤差 e_{R-G} のヒストグラムを示している。図3から e_{R-G} の分布は e_R の分布よりも0近傍に集中しており、このことから、 e_R を符号化するよりも e_{G-R} を符号化することにより符号化効率が改善されることがわかる。 e_{B-G} と e_B についても同様のことがいえる。

3 コンテキスト分離

画像データは、コンテキストと呼ばれる局所的に異なる性質を持っている。画像中のある領域に注目した場合、輝度値の変化が緩やかな領域もあれば、輝度値の急峻に変化する領域も存在する。したがって、画像データをコンテキストによって分離し、コンテキストに応じて最適なエントロピー符号化を適用することによって効率の良い符号化が期待できる。

本論文では、高速で効率的にコンテキストを決定するために、隣接画素の予測誤差を用いる。輝度値の変化が小さい領域であれば、その領域に含まれる画素の予測誤差は小さくなり、輝度値の変化が急峻である領域は、その領域に含まれる画素の予測誤差は大きくなる。したがって、予測誤差を用いることにより、その領域が輝度値の変化が緩やかであるか急峻であるかどうかを知ることができる。

符号化画素のコンテキストの具体的な決定法について説明する。図4に示される符号化画素 x に隣接する4つの画素の予測誤差 $e_i (i = 1 \sim 4)$ の絶

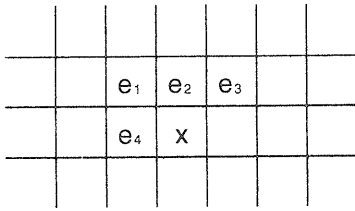


図 4: コンテキスト分離に用いる符号化画素周辺の参照画素位置

対値の和を求める．これを予測誤差強度 D と呼ぶ．つづいて，予測誤差強度 D から，対応するコンテキスト C を決定するのが量子化器 Q である．予測誤差強度 D ，量子化器 Q ，コンテキスト C の関係を式で表すと次のようになる．

$$\begin{cases} D = \sum_{i=1}^4 |e_i| \\ C = Q(D) \end{cases} \quad (2)$$

図 5 は予測誤差強度のヒストグラムを示したものである．図 5 から，予測誤差強度が 0 に近いとき予測誤差強度の出現頻度は高くなり，予測誤差強度の値が大きくなるにしたがって予測誤差強度の出現頻度は低くなる．

量子化器 Q の量子化しきい値は各量子化レベルの出現頻度がほぼ等しくなるように決定する．つまり画素を N 個のコンテキストに分離する場合，図 5 のように C_1, C_2, \dots, C_N の各面積が等しくなるように量子化しきい値を決定する．これらのしきい値によってコンテキストを決定することにより効果的なコンテキスト分離を行うことができる．各コンテキストに対して最適なエントロピー符号化を各コンテキストに分離された予測誤差に適用することにより，効果的な符号化が実現できる．

4 実験

本節では，実験手順，およびその結果を示す．

テスト画像として 720×576 , 24bpp の RGB 画像を 5 枚用意した．具体的な符号化および復号化の手順を以下に示す．符号化は，まず R-, G-, B-各画像に対して予測誤差を計算し，次に式 (1) によって予測誤差の補正を行う．最後に各画素を式 (2) によってコンテキストに分離し，各コンテキストに分離された予測誤差に対してエントロピー符

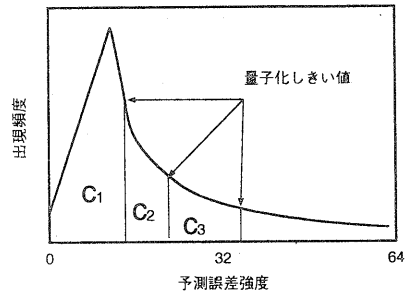


図 5: 予測誤差の出現頻度およびコンテキスト分離に用いる量子化しきい値

号化を行う．本手法では，エントロピー符号化にはハフマン符号化を用いている．予測誤差をコンテキストに分離するためのコンテキストの量子化しきい値，および各コンテキストに分離された予測誤差を符号化するためのハフマン木は，あらかじめ数枚の画像を用いて作成し，符号化部，復号化部に持たせておく．復号化は，すでに復号化された画素の予測誤差から復号化画素のコンテキストを計算し，そのコンテキストに対応するハフマン木を選択し復号を行う．コンテキストの量子化レベルは 32 とした．

表 2 に提案手法と LOCO-I, CALIC, JPEG Spatial 方式のビットレートを示す．また，予測誤差補正，コンテキスト分離のみを施した後に圧縮を行った結果もあわせて示す．ビットレートは各色空間での値を平均したものである．

実験結果から，提案手法の圧縮性能は LOCO-I と比較して 8%，CALIC と比較して 7% 向上した．また，PentiumII(450MHz) を用いた場合の提案手法の計算時間はそれぞれ LOCO-I の 2/3, CALIC の 1/3 であった．

実験結果から，予測誤差補正，コンテキスト分離を行うことにより，JPEG Spatial 方式と比較して，それぞれ 13%，6% 符号化効率が向上した．また，予測誤差補正の方がコンテキスト分離よりも有効である．コンテキスト分離のみでは，LOCO-I, CALIC よりも符号化効率は良くないが，予測誤差補正とコンテキスト分離を組み合わせることにより，高速で高性能の符号化を実現できる．

コンテキストの量子化レベルを 2, 4, 8, ..., 64 と変化させた場合のテスト画像に対する圧縮性能の

表 2: 圧縮性能の比較

	LOCO-I	CALIC	JPEG Spatial	予測誤差 補正	コンテク スト分離	提案手法
Barb1	4.86	4.74	5.51	4.67	5.07	4.30
Boats	4.20	4.18	4.74	4.07	4.42	3.86
Girl	4.16	4.14	4.56	4.06	4.35	3.91
Gold	4.69	4.69	5.12	4.54	4.87	4.37
Zelda1	4.13	4.13	4.45	3.93	4.25	3.82
Average	4.41	4.38	4.88	4.25	4.59	4.05

表 3: コンテキストの量子化レベルを変化させた場合の圧縮性能の比較

	量子化レベル数						
	1	2	4	8	16	32	64
Barb1	4.67	4.54	4.43	4.36	4.33	4.30	4.29
Boats	4.07	3.97	3.91	3.88	3.86	3.86	3.85
Girl	4.06	4.00	3.94	3.93	3.91	3.91	3.90
Gold	5.54	4.47	4.42	4.40	4.37	4.37	4.37
Zelda1	3.93	3.92	3.85	3.83	3.82	3.82	3.82
Average	4.25	4.18	4.11	4.08	4.06	4.05	4.05

比較を表3に示す。コンテキストの量子化レベル数が大きくなるにしたがい符号化効率が向上しているが、コンテキストの量子化レベルが16以上になると符号化効率にほとんど変化がみられなかった。

5 おわりに

本論文では、各色空間の予測誤差の差に対してエントロピー符号化を適用することによって、少ない計算量で効果的なRGBカラー静止画像の圧縮手法について述べた。また、高速で有効なコンテキスト分離について提案した。コンテキストは符号化画素の周辺画素の符号化済み画素の予測誤差の絶対値の和を量子化することによって得られ、少ない計算量とメモリ消費で効果的な符号化を行うことができた。

予測誤差補正に関して、G-画像の予測誤差とR-, B-画像の予測誤差との関係は画像によって異なる。したがって、適応的な予測誤差の補正法について検討する必要がある。

RGBデータの他に複数の空間を持つ画像データフォーマットに対応するために、適応的に予測誤差

を補正する手法について検討する必要がある。さらに、予測誤差強度の頻度分布は、画像の解像度に従って変化するため、予測誤差強度の量子化器の量子化しきい値を適応的に変化させるための手法について検討する必要がある。

参考文献

- [1] A.Abrardo, L.Alparone, F.Bartolini, P.Guarnieri, "Reversible inter-frame compression of high quality color images of paintings," Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng, Vol.2952, pp. 254-261, 1996.
- [2] D.Petrescu, M.Gabbouj, "Prediction based on Boolean filters for multiresolution lossless image compression," Proc. IEEE International Conference on Image Processing, Vol.2, pp. 290-294, 1997.
- [3] G.Zamora, S.Mitra, "Lossless coding of color images using color space transformations,"

- Proc. 11th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems, pp. 13-18, 1998.
- [4] M.J.Gormish, E.L.Schwartz, A.Keith, M.Boliek, and A.Zandi, "Lossless and nearly lossless compression for high quality images," SPIE, San Jose, CA, Feb. 1997.
- [5] M.J.Weinberger, G.Seroussi, and G.Sapiro, "LOCO-I:A Low Complexity, Context-Based, Lossless Image Compression Algorithm," Proc of the IEEE Data Compression Conference, Snowbird, Utah, Mar.-Apr. 1996.
- [6] M.J.Weinberger, J.Rissanen, and R.B.Arps, "Applications of universal context selection for compression of gray scale images," IEEE Trans. Image Processing, pp. 575-586, Apr. 1996.
- [7] N.D.Memon, A.Venkateswaran, "On ordering color maps for lossless color predictive coding," Trans. on Image Processing, Vol.6, No.11, pp. 1522-1527, Nov. 1996
- [8] N.D.Memon, K.Sayood, "Lossless compression of RGB color images," Optical Engineering, Vol.34, No6, pp. 1711-1717, June 1995.
- [9] 福間 慎治, 岩橋 政宏, 神林 紀嘉, "可逆的色変換を用いた色彩画像の可逆符号化," 信学論 (D-II) Vol.J81-D-II, No.11., pp. 2680-2684, Nov., 1998.
- [10] X.Wu, "Lossless Compression of Continuous - Tone Images via Context Selection, Quantization, and Modeling," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.6, No.5, pp. 656-664, May 1997.
- [11] X.Wu, N.D.Memon, "Context - Based, Adaptive, Lossless Image Coding," IEEE Trans. on Communications, Vol.45, No.4, pp. 437-444, April 1997.