

整数型 WT とブロック適応予測を用いた画像の段階的可逆符号化

Progressive Lossless Coding of Images

Using Integer Wavelet Transform and Block-Adaptive Prediction

上田 直之*

松田 一朗*

伊東 晋*

Naoyuki UEDA

Ichiro MATSUDA

Susumu ITOH

1. はじめに

我々は先に、ブロック適応予測に基づいた静止画像の可逆符号化方式 [1] を提案した。この方式は、ラスタスキャン順の予測処理に基づいて符号化を行っているため、復号の途中で画像の全体像を把握することが困難である。本稿では、上記方式に段階的再生の機能を付加するため、画像を整数型ウェーブレット変換を用いて帯域分割し、低域成分から順に符号化する手法について検討する。

2. 整数型 WT を用いた段階的可逆符号化

ウェーブレット変換 (WT) は、画像信号の多重解像度表現を効率的に実現する手法として知られ、解像度スケラビリティ機能を有する段階的符号化方式に広く採用されている。その代表例である JPEG2000 [2] では、リフティングスキーム [3] に基づいた整数型 WT を用いることで、最終段階の再生画像が原画像と同一となる段階的可逆符号化を可能にしている。しかし、画像の局所的性質に応じて予測器を切り替えるブロック適応予測 [1] 等に比べると、固定係数の整数型 WT による冗長度削減の能力は低く、またエントロピー符号化に際しても帯域間の相関を一切利用していないため、JPEG2000 による可逆符号化の効率性は必ずしも高いとはいえない。そこで本稿では、JPEG2000 と同じ整数型 WT によって得られる変換係数に対してブロック適応予測を適用し、低域成分から順に可逆符号化することで段階的再生を可能とした場合の符号化効率について調査する。

3. WT 係数に対するブロック適応予測

まず、原画像に対して水平および垂直方向に整数型 5/3WT [2] を適用し、図 1 に示すような 1 レベル 4 帯域の WT 係数配列 ($s_B(p_0) \mid B \in \{LL, LH, HL, HH\}$) を得る。低域成分である $s_{LL}(p_k)$ は、原画像を縦横半分に

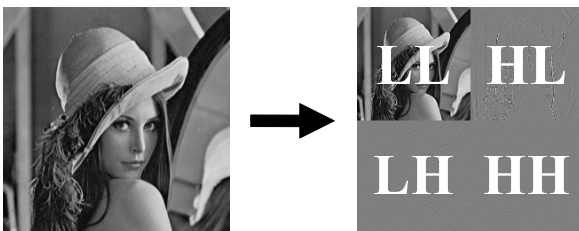
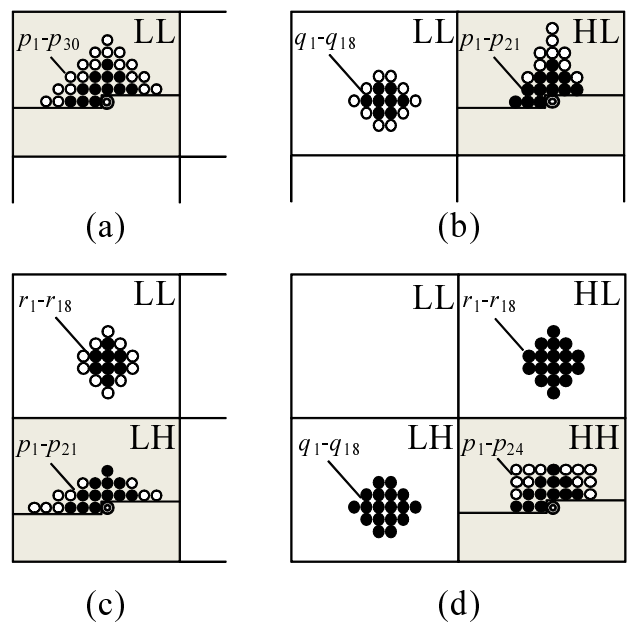


図 1 整数型 WT (原画像: Lena)

縮小したものとみなせるため、静止画像の場合と同様なブロック適応予測に基づいて符号化を行う [1]。但し、整数型 WT を適用すると一般に信号のダイナミックレンジが増加するため、予め帯域毎に測定した変換係数の最大値と最小値の差の範囲内で予測誤差の確率モデル (後述) を設計している。一方、LH, HL, HH 成分を符号化する際は、符号化対象の帯域 (図 2 の着色部分) に属する近傍の WT 係数だけではなく、既に符号化が終了した帯域の WT 係数も予測に用いる。各帯域において、予測に用いる係数の配置を図 2 (a) ~ (d) 上の黒丸および白丸のサンプル点として示す。これらの配置は、各帯域の係数の統計的性質やサンプリング構造を考慮に入れた上で、予備実験に基づいて決定したものである。これにより、整数型 WT では除去しきれなかった帯域間の相関を利用した予測が可能となる。なお、図 2 (d) において LL 成分を予測に用いても、多くの場合予測係数に要する付加情報の増加に見合った利得が得られないことを、上記の予備実験において確認している。本方式では、このような帯域毎に構造が異なる線形予測器をそれぞれ M_B 種類用意しておき、これらを 8×8 サンプルのブロック単位で適応選択している。HH 帯域を例にすると、サ



● : 当該サンプル p_0

図 2 予測に用いる WT 係数の配置

*東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

サンプル p_0 が属するブロックに対して m 番目の予測器 ($m = 1, 2, \dots, M_{HH}$) を割り当てた際の予測値は次式によって算出される。

$$\hat{s}_{HH}(p_0) = \sum_{k=1}^{24} a_m(k) \cdot s_{HH}(p_k) + \sum_{k=1}^{18} a_m(k+24) \cdot s_{LH}(q_k) + \sum_{k=1}^{18} a_m(k+42) \cdot s_{HL}(r_k) \quad (1)$$

但し、 $a_m(k)$ は m 番目の予測器が参照する計 60 個の WT 係数に与えられた予測の重み (予測係数) を表している。

4. 予測誤差の符号化

(1) 式より算出された予測誤差 $e = s_B(p_0) - \hat{s}_B(p_0)$ は、コンテキストモデリングに基づいた適応多値算術符号器を用いて符号化される。このコンテキストモデリングは、図2の黒丸に示すサンプルより得られた $|e|$ の加重和で定義された特徴量 U の値を、しきい値 $Th_m(1) \sim Th_m(15)$ を用いて 16 レベル ($n = 1, 2, \dots, 16$) に量子化し、各レベルに対応したコンテキスト毎に、予測誤差 e の確率密度関数を次式の一般化ガウス関数でモデル化することに対応している。

$$P_n(e) = \frac{c_n \cdot \eta(c_n, \sigma_n)}{2\Gamma(1/c_n)} \cdot \exp\{-|\eta(c_n, \sigma_n) \cdot e|^{c_n}\},$$

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

ここで、 $\Gamma(\cdot)$ はガンマ関数、 σ_n は各コンテキストにおける予測誤差の標準偏差、 c_n は分布の急峻さを表す形状パラメータである。本方式では、特徴量 U の算出に異なる帯域で得られた予測誤差の値も利用しているため、画像領域で近傍の画素を構成する WT 係数群の総合的なアクティビティに基づき、算術符号器で用いる確率モデル $P_n(e)$ をサンプル毎に切り替えることが可能である。なお、復号処理で必要となる M_B 組の予測係数群 $\{a_m(k)\}$ 、 8×8 サンプルのブロック毎に割り当てられる予測器の番号 $m \in \{1, 2, \dots, M_B\}$ 、コンテキストモデリングに用いるしきい値 $\{Th_m(n)\}$ といったパラメータの値は、上記の確率モデルに基づいて見積られる符号量が最小となるよう、各帯域毎に繰り返し最適化された後、付加情報としてビットストリームに多重化される。

5. 特性評価とまとめ

5 種類のモノクローム静止画像 (512×512 画素, 8bit PCM) を対象として符号化シミュレーションを実施した。

表 1 に各方式について算出された画素当たりの符号化レートを示す。但し、表中の「帯域独立」は、1 レベルの帯域分割によって得られた 4 つの WT 係数配列に対して文献 [1] の方式をそのまま適用した際の符号化レートを表している。また「直接符号化」は帯域分割を行わない文献 [1] の方式、「JPEG2000」は静止画像符号化の国際標準方式 [2] による可逆符号化 (レベル数 5) の結果をそれぞれ表している。また、表 2 に「本方式」および「帯域独立」について各帯域毎に算出された平均符号化レートを示す。なお、これらの方式において、各帯域毎に用意した予測器の数 M_B は表 3 の通りとした。表 1 および表 2 より、既に符号化済みの帯域成分の情報を利用する「本方式」は、帯域成分間の相関を利用しない「帯域独立」と比較して平均で 0.048 bits/pel 符号化レートを削減できていることがわかる。また「直接符号化」からの性能低下を 2% 以下に抑えつつ、可逆符号化の国際標準方式である「JPEG2000」に比べて平均で 8% 以上低い符号化レートを達成しており、本方式は可逆符号化として高い性能を保持したまま段階的再生の機能を実現可能であることを示している。今後は、帯域分割のレベル数を更に増加させた場合について検討を加える予定である。

表 1 符号化レートの比較 (bits/pel)

Image	本方式	帯域独立	直接符号化	JPEG2000
Airplane	3.696	3.769	3.597	4.014
Baboon	5.721	5.766	5.670	6.108
Lena	4.350	4.388	4.285	4.685
Lennagray	3.966	4.015	3.902	4.305
Peppers	4.244	4.275	4.204	4.630
Average	4.395	4.443	4.332	4.748

表 2 帯域毎の平均符号化レートの比較 (bits/pel)

帯域	本方式	帯域独立
LL	4.822	4.822
LH	4.216	4.287
HL	4.226	4.311
HH	4.316	4.350
Average	4.395	4.443

表 3 帯域毎に用いる予測器の数

帯域	LL	LH	HL	HH
M_B	20	10	10	10

【参考文献】

- [1] 松田 他: “画像ごとに適応予測器と算術符号を最適化する可逆符号化方式,” 信学論 (D-II), vol.J88-D-II, No.9, pp. 1798-1807, Sep. 2005.
- [2] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1, ISO/IEC FCD 15444-1, “Information technology - JPEG2000 image coding system,” Mar. 2000.
- [3] W. Sweldens, “The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets,” Appl. Comput. Harmon. Anal., vol.3, no.2, pp.186-200, Apr. 1996.