

## 修士論文要旨 (2021 年度)

# ウェーブレット係数に対する帰還差分量子化を用いた画像の予測符号化 Wavelet-Domain Predictive Image Coding Using Feedback Quantization

電気電子情報通信工学専攻 藤澤 雅樹  
Masaki FUJISAWA

### 1. まえがき

近年, TV やデジタルカメラ等の映像技術に加えて, 視聴者が望む視点から映像体験を得られる自由視点映像やなどの新しい映像体験が注目されている. これらは, 多数のカメラを多地点に設置して多視点画像処理を行うことで任意の視点からの動画像を表現している. しかし, 自由視点の映像を作るには多くの画像のフレーム数, また様々な角度から撮影した多視点画像が必要となるため, データ量が膨大であり, 取り扱いが難しいとされている. そのため多視点画像をより効率的に圧縮することが求められている.

画像符号化の手法の一つとして, 画像信号の画素間に存在する高い相関を利用した高能率符号化である DPCM 方式 (予測符号化方式) が従来より検討されてきた. 従来までの DPCM 方式は, 画像信号の持つ 2 次元空間信号の片側, 言わば半分の情報しか符号化に利用していないという欠点を有していた. そこで帰還差分量子化と呼ばれる画素の予測残差値を量子化する前に帰還する手法を用いることで, 空間信号の両側を符号化に利用することを可能とした内挿予測符号化方式が羽鳥ら[1]によって提案されている.

また, DPCM 方式とは異なった符号化方式として変換符号化が検討されてきた. この方式では, 画像信号を周波数軸上で見ると, ある特定の周波数成分に信号電力が集中的に分布することを利用して符号化を行っている. 一般的には予測符号化に比べて必要な演算処理回数が多い反面高い符号化効率を得られ, LSI 技術の発展に伴い, 変換符号化が画像符号化アルゴリズムの主流となっている. 特に, 離散ウェーブレット変換を用いた変換符号化は符号化標準の 1 つである JPEG 2000 で用いられている [2][3].

### 2. 提案手法

本研究は, 符号化標準で用いられている離散ウェ

ーブレット変換に対して, 従来手法である帰還差分量子化を用いた予測符号化を適用する方式を提案するものである.

これまでの研究では, 先行研究[1]に用いられていた予測ブロックのサイズの変更, 予測範囲の変更を行いそれらの有効性を示してきた. 本稿では, 従来の予測符号化方式を離散ウェーブレット変換の係数に適用し符号化効率の向上させる方式を検討する. 図 1 に全体の流れを示す.

#### 2.1. 離散ウェーブレット変換

離散ウェーブレット変換 (DWT) は, ウェーブレットと呼ばれるさざ波の形をした基底信号を拡大縮小と平行移動を用いることによって入力信号を表現する時間-周波数解析法である. JPEG2000 のウェーブレット変換は 2 次元変換であるが, これは 1 次元のフィルタを垂直方向, 水平方向と適用することで 2 次元変換係数を算出している.

変換係数はフィルタの組み合わせによって四つの係数群に分類される. 基本方式におけるウェーブレット変換は, 低周波成分を再帰的に分割する変換を行う. 変換が行われた回数は分解レベルと呼ばれ, ここでは  $N_L$  という記号で表す. 順変換と逆変換における変換係数群と分解レベルの関係を図 2 に示

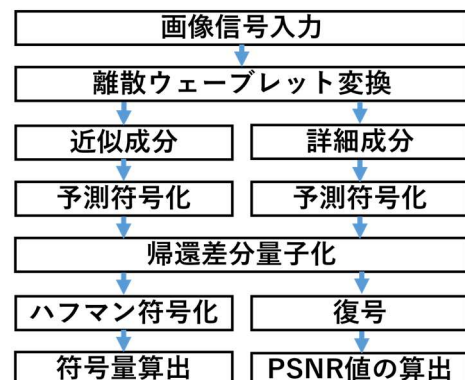


図 1 : 提案手法のフロー

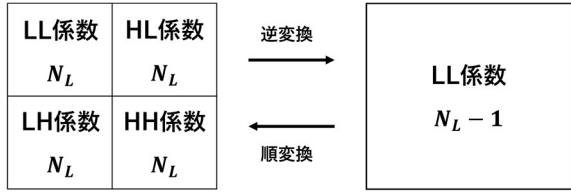


図 2:  $N_L = 1$ におけるオクターブ分割例

す。LL 成分は画像の DC 成分を、LH, HL, HH, 成分は各々画像の AC 成分を表しており、本稿では DC 成分を近似成分、AC 成分を詳細成分と呼ぶこととする[3].

## 2.2. 帰還差分量子化を用いた外挿・内挿予測

画像の予測符号化方式は大きく 2 つに分けられ、先に走査した画素の値だけを用いて予測を行う外挿予測と、後に走査される画素の値も用いて予測を行う内挿予測がある。

外挿予測は内挿予測に比べて予測性能が低くなってしまいう問題があるものの、復号時の符号化誤差を小さく抑えることができる。それに対して内挿予測は復号時に符号化誤差が大きくなってしまいう問題があるものの予測性能が高く、予測残差のエントロピーをより低減できる[1].

### 2.2.1. 外挿予測符号化

外挿予測符号化は左端点の画素値  $x_1$  を除いた画素値  $x_i, (i = 2, 3, \dots, 9)$  に対して行う。各画素値  $x_i$  の予測値をその左隣の画素値として、その予測残差  $y_i$  を算出する。

$$y_i = x_i - x_{i-1}, \quad i = 2, 3, \dots, 9 \quad (1)$$

送信側では、これらの予測残差  $y_i$  を伝送路へ送る。左端点の画素値は完全に復号されるものとし、 $y_1 = x_1$  とする。

ここで、画素値ベクトル  $\mathbf{x} := (x_1, \dots, x_9)^T$ , ( $T$ は転置を表す) 予測残差ベクトル  $\mathbf{y} := (y_1, \dots, y_9)^T$  とすると両者の関係は次式で表す。

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} \quad (2)$$

$\mathbf{C}$  は符号化行列であり次のように表される。

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & \\ -1 & 1 & & & & & & & \\ & -1 & 1 & & & & & & \\ & & & \ddots & & & & & \\ & & & & -1 & 1 & & & \\ & & & & & -1 & 1 & & \\ & & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

行列内の空白は全て 0 である。受信側では、端点の画素値が既知であるため、原画像  $\mathbf{x}$  は、符号化行列

の逆行列を用いて次のように復号できる。

$$\mathbf{x} = \mathbf{C}^{-1}\mathbf{y} \quad (4)$$

2 次元信号に対しては 2 次元外挿予測も可能であり、その場合直左と直上の画素を予測に用いる[1].

### 2.2.2. 内挿予測符号化

内挿予測符号化は左端点と右端点の画素値  $x_1, x_9$  を除いた画素値  $x_i, (i = 2, 3, \dots, 8)$  に対して行う。各画素値  $x_i$  の予測値をその左隣と右隣の画素値として、その予測残差  $y_i$  を算出する。

$$y_i = x_i - \frac{x_{i-1} + x_{i+1}}{2}, \quad i = 2, 3, \dots, 8 \quad (5)$$

送信側では、これらの予測残差  $y_i$  を伝送路へ送る。左端点と右端点の画素値は完全に復号されるものとし、 $y_1 = x_1, y_9 = x_9$  とする。

ここで、画素値ベクトル  $\mathbf{x} := (x_1, \dots, x_9)^T$ , 予測残差ベクトル  $\mathbf{y} := (y_1, \dots, y_9)^T$  とすると両者の関係は次式で表す。

$$\mathbf{x} = \mathbf{C}^{-1}\mathbf{y} \quad (6)$$

$\mathbf{C}$  は符号化行列であり次のように表される。

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & \\ -\frac{1}{2} & 1 & -\frac{1}{2} & & & & & & \\ & -\frac{1}{2} & 1 & -\frac{1}{2} & & & & & \\ & & & \ddots & & & & & \\ & & & & -\frac{1}{2} & 1 & -\frac{1}{2} & & \\ & & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

行列内の空白は全て 0 である。受信側では、端点の画素値が既知であるため、原画像  $\mathbf{x}$  は、符号化行列の逆行列を用いて次のように復号できる。

$$\mathbf{x} = \mathbf{C}^{-1}\mathbf{y} \quad (8)$$

2 次元信号に対しては 2 次元外挿予測も可能であり、その場合上下左右の画素を予測に用いる[1].

### 2.2.3. 帰還差分量子化法

帰還差分量子化法は、予測残差を量子化する際に、先に量子化した予測残差の量子化誤差を加算して量子化を行う方式である。図 3 に帰還差分量子化法のブロック図を示す。

まず、予測残差  $y_1$  を量子化し、その量子化誤差  $\bar{q}_1$  をメモリーに保存する。次の予測残差  $y_2$  を量子化する際には、1 つ前の量子化誤差  $\bar{q}_1$  に適当な帰還係数  $k_{21}$  を乗じた  $k_{21}\bar{q}_1$  を  $y_2$  に加えた  $y_2 + k_{21}\bar{q}_1$  を量子化する。このときの量子化誤差  $\bar{q}_2$  をメモリーに保存する。これを繰り返すことにより帰還差分量子化を行う。

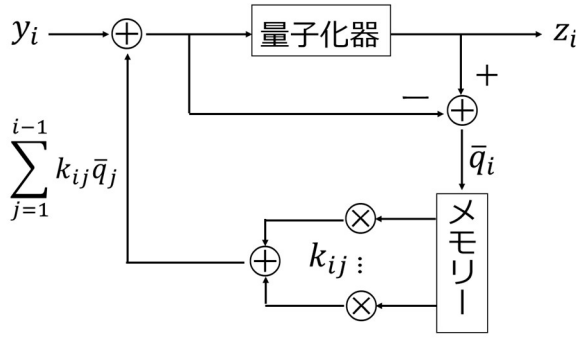


図 3: 帰還差分量子化法のブロック図

帰還差分量子化後に伝送路へ送る出力をベクトル  $\mathbf{z} := (z_1, \dots, z_7)^T$ , 量子化誤差ベクトルを  $\bar{\mathbf{q}} := (q_1, \dots, q_7)^T$  とすると, 次式で表される.

$$\mathbf{z} = \mathbf{y} + \mathbf{K}\bar{\mathbf{q}} \quad (9)$$

ここで  $\mathbf{K}$  は帰還係数  $k_{ij}$  を要素とした帰還係数行列であり, 帰還の方式上, 対角成分が 1 の下三角行列となる [4].

### 3. 評価実験

提案手法の評価として, 数値計算ソフトウェア MATLAB R2020a を使用し, 標準画像「LENNA」(解像度  $254 \times 254$  [pixel], 諧調 8[bit]) の 1 行目を用いた 1 次元符号化, 画像全体を用いた 2 次元符号化の 2 パターンの符号化を行った. 予測ブロックサイズは 1 次元で  $1 \times 22$ , 2 次元で  $22 \times 22$  とする. 符号化品質の評価は客観評価尺度の PSNR [dB] と 1 画素当たりの bit 数 [bit/pixel (bpp)] を用いて行う. また, 本実験のウェーブレット変換で用いる基底は Haar ウェーブレットで固定する.

提案手法の比較対象には羽鳥ら [1] の提案する画像信号に対する帰還差分量子化を用いた内挿予測符号化を用いる.

1 次元信号に対する符号化実験では, まず符号化対象に離散ウェーブレット変換を行い, 出力された近似成分と詳細成分に対して予測符号化を行う. 近似成分は低周波の成分であり原画像と似た画素間相関を持っていることから, 内挿予測符号化だけを用いることとする. 詳細成分に対しては外挿予測符号化と内挿予測符号化を用いて実験を行う. その後, 算出された予測残差に対して帰還差分量子化を行う. 近似成分に対しては量子化ステップ  $Q$ , 詳細成分に対しては量子化ステップ  $q$  を用い符号化性能の比較を行う. これらの工程を 1 行分を行い, 逆変換をすることで復元画像を出力する. 使用する予測方法と量子化ステップについて表 1 に示す.

2 次元信号に対する符号化実験の流れは 1 次元信号のものと同じとする. ただし, 詳細成分に対して

は 1 次元外挿予測符号化, 2 次元外挿予測符号化, 1 次元内挿予測符号化, 2 次元内挿予測符号化を用いて実験を行う. さらに, 1 次元予測符号化は縦方向と横方向について行う. その後, 算出された予測残差に対して帰還差分量子化を行う. 使用する予測方法と量子化ステップについて表 2 に示す.

### 3.1. 実験結果

1 次元信号に対する符号化結果を図 4 に示す. 従来方法と比べると  $1.34 \sim 4.01$  [dB] 程度の画質の改善に成功した. 予測方法で比較すると, 外挿予測符号化が内挿予測符号化の符号化性能を上回った. また分解レベルで比較すると, 高ビットレート帯では  $N_L = 1$  での符号化が  $N_L = 2$  での符号化性能を上回った.

2 次元信号に対する符号化結果を図 5, 図 6, 図 7 に示す. 従来手法と比べると最も符号化性能が良いときでも画質が  $3.01$  [dB] 程度低下した. 予測方法で比較すると, 外挿予測が内挿予測符号化の符号化性能を上回った. また分解レベルで比較すると,  $N_L = 1$  での符号化が  $N_L = 2$  での符号化性能を上回った.

#### 3.1.1. 予測方法による符号化性能の違い

外挿予測と内挿予測で性能の違いがあった原因として, 予測方法によって量子化誤差電力の拡大率に違いがあることが考えられる. 量子化誤差電力の拡大率が大きいほど, 量子化誤差が復号時に大きくなる. 今回用いた符号化行列の量子化誤差の拡大率を表 3 に示す. 外挿よりも内挿, 1 次元よりも 2 次元符号化で誤差電力の拡大率が大きくなっている. 従って, 提案手法では外挿予測符号化の符号化性能が優れていたと考えられる.

表 1: 1 次元信号の符号化条件

	近似成分	詳細成分	
予測方法	内挿予測	内挿予測	外挿予測
量子化ステップ	$Q=q$	$q=1,2,\dots,30$	

表 2: 2 次元信号の符号化条件

	近似成分	詳細成分					
予測方法	内挿予測	内挿予測				外挿予測	
予測方向	2 次元	縦	横	2 次元	縦	横	2 次元
量子化ステップ	$Q=q$	$q=1,2,\dots,30$					

表 3: 量子化誤差電力の拡大率

1 次元外挿	1 次元内挿	2 次元外挿	2 次元内挿
58.35	78.64	441.0	595.9

### 3.1.2. 分解レベルによる符号化性能の違い

画像信号に対して、2次元内挿予測符号化を行った場合2次元外挿予測よりも符号化効率が高くなる。これは予測性能の差が原因であり、予測性能の高い内挿予測は予測残差のエントロピーを低減させることが可能である。しかし、図7よりウェーブレット係数に対しては外挿予測符号化が内挿予測符号化の性能を上回っている。従って、周波数成分に対する予測においては予測性能より量子化誤差の拡大が大きく影響を与えていると考えられる。さらに分解レベルが大きくなるほど詳細成分は低周波になり、画質に与える影響が大きくなるため、 $N_L = 1$ の符号化が $N_L = 2$ を上回ったと考えられる。

## 4. おわりに

本論文では画像信号のウェーブレット係数に対する予測符号化が適しているのではないかといった考えから、離散ウェーブレット変換を用いて画像信号を近似成分と詳細成分に分解し、それらに対して帰還差分量子化を用いた予測符号化を用いる手法を提案した。提案手法では1次元信号に対する符号化性能において従来手法を上回りその有効性を示した。今回は2次元データに対して適用したが、音響データ等の1次元データにより適した符号化手法であると考えられる。

今後はエントロピーを低減するために要素の予測範囲を見直し[5]、予測精度を上げることで符号化性の向上を目指す予定である。

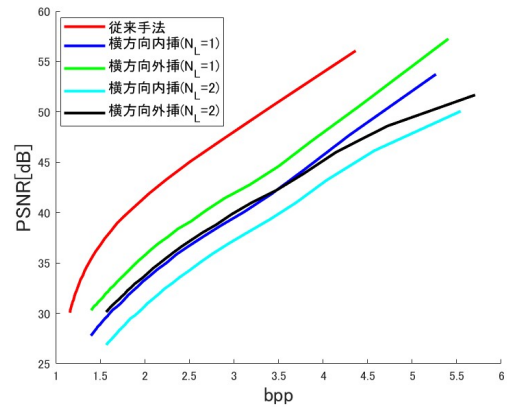


図6：横方向予測

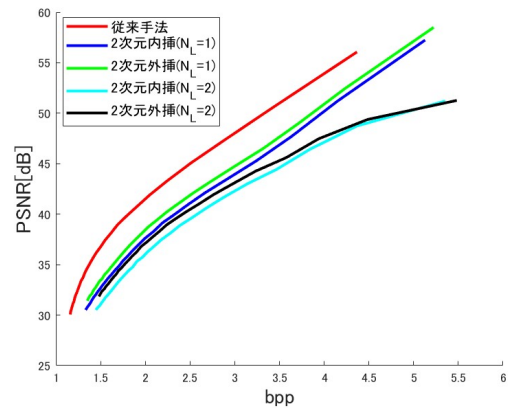


図7：2次元予測

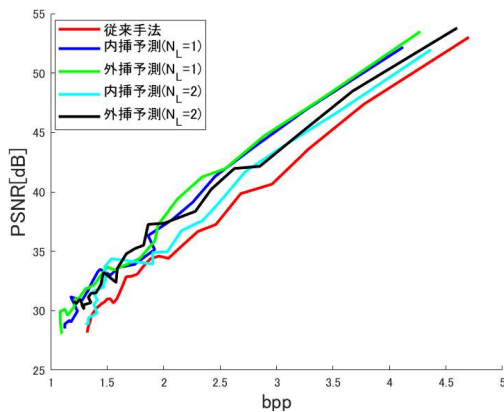


図4：1次元外挿予測

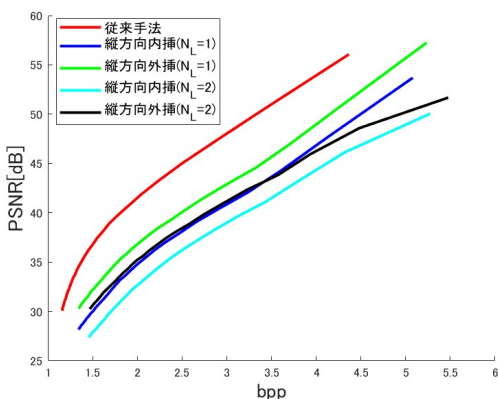


図5：縦方向予測

## 参考文献

- [1] 羽鳥 好律, “帰還差分量子化を用いた画像信号の内挿予測符号化”, 電子通信学会論文誌, Vol. J66-B, No. 5, pp. 599-606, 1983.
- [2] 橋本 秀雄, “画像符号化アルゴリズムⅡ ー変換符号化ー”, テレビジョン学会誌, Vol. 43, No. 10, 1989, pp. 1145-1155.
- [3] 小野 文孝, 野水 泰之, 原 潤一, 「JPEG2000のすべて」, 電波新聞社, 2006.
- [4] 藤田 尚宏, 久保田 彰, 羽鳥 好律, “帰還差分量子化を用いた内挿予測符号化における量子化順序の適応制御方式”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 63, No. 11, pp. 1652-1658, 2009.
- [5] 藤澤 雅樹, 久保田 彰 “帰還差分量子化を用いた内挿予測符号化における最適な予測係数の検討”, 2020年電子情報通信学会総合大会予稿集, D-11-13, 2020.