

## フレーム展開による信号の冗長度制御方式に関する検討

石川 孝明<sup>†</sup> 渡辺 裕<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学国際情報通信センター  
〒 367-0035 埼玉県本庄市西富田 1011  
<sup>††</sup> 早稲田大学大学院国際情報通信研究科  
〒 367-0035 埼玉県本庄市西富田 1011  
E-mail: †takaxp@fuji.waseda.jp

あらまし 多重記述符号化の冗長度制御方式としてフレーム展開を用いる手法を提案する。ウェーブレット変換後の係数群をラティスにより複数のパケットに均等分割する従来手法では、パケット間の冗長度がラティスの構造に依存しており信号自体の冗長度には着目していない。そこで本検討では、信号を直接的に冗長表現するためにウェーブレット係数群をフレーム展開する。従来方式と比較して、パケットロスが生じる場合のエラー耐性が高まることを実験で確認した。

キーワード フレーム展開, ウェーブレット変換, 冗長度制御, 多重記述符号化

## A Study on Signal Redundancy Control Method by Frame Expansion

Takaaki ISHIKAWA<sup>†</sup> and Hiroshi WATANABE<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University  
1011 Nishi Tomida, Honjo, Saitama 367-0035 Japan  
<sup>††</sup> Graduate School of Electronics, Information and Communication Engineering Studies, Waseda University  
1011 Nishi Tomida, Honjo, Saitama, 367-0035 Japan  
E-mail: †takaxp@fuji.waseda.jp

**Abstract** We propose a new method to control signal redundancy by frame expansion for multiple description coding. A conventional method is to partition coefficients of Discrete Wavelet Transform (DWT) using Lattice in the frequency domain. Redundancy is introduced by distance of the wavelet coefficients based on spatial redundancy in the transform domain of the signal. Proposed method introduces redundancy to wavelet coefficients by frame expansion. Experimental results show that proposed method enhances the error resilience of image transmission under packet loss when compared to the conventional method.

**Key words** frame expansion, wavelet transform, redundancy control, multiple description coding

### 1. ま え が き

画像や映像のネットワーク伝送において、通信路の環境は再生品質に大きな影響を与える。通信路で生じるパケットロスに対してエラー耐性を高める手法に、Forward Error Correction (FEC) とそのインターリーブがある。FEC は、情報源符号化により得られるビットストリームを複数のパケットに区分し、冗長ビットを付加することで損失したパケットの回復を可能としている。しかし、設定した冗長度を超えるエラーが生じると誤り訂正ができずに画像や映像品質を極端に低下させる要因となる。また多くの場合、パケットの冗長化はビットレベルで行われ、ビットストリームの内容は考慮されない。全体的な伝送

効率を向上させるために、ビットストリームの内容と冗長度を同時に考慮する必要がある。

ビットストリームの内容と冗長度を同時に扱う符号化方式として、多重記述符号化がある。多重記述符号化は、情報源符号化と通信路符号化の中間に位置づけられる。情報源符号化は、変換や量子化などにより情報源出力の冗長度を圧縮もしくは削減することを目的としている。一方、通信路符号化は冗長度の制御を主な目的としている。多重記述符号化は、情報源出力を複数のビットストリームに符号化する。それらを独立な通信路で伝送することで信頼性の高い通信を実現可能である。しかし、複数経路を利用する通信の伝送効率を高めるには、情報源出力を複数のビットストリームに効率よく分割する必要がある。こ

の時、複数ビットストリーム間の冗長度はエラー耐性に影響を与えるため、多重記述符号化における冗長度の制御は非常に重要な要素である。

本研究では、複数ビットストリーム間の冗長度を制御するために変換係数をフレーム展開により冗長化する方法を提案する。多重記述符号化における情報分割の手法としては、ウェーブレット変換係数を分割対象とする方式が高い符号化効率を実現することが既に知られている。そこで提案方式では、 $N$  個のウェーブレット係数をフレーム展開により  $M (> N)$  個の係数に冗長化し、それらを別々のビットストリームに符号化し独立に伝送する方式を検討する。実験により、フレーム展開を利用する提案方式が、従来手法と比較してエラー耐性が高く、再構成画像の品質が約 1[dB] 程度向上することを確認した。

## 2. 従来手法

多重記述符号化方式の従来手法について述べる。

### 2.1 Dispersive Packetization (DP)

Bajic らは、多重記述符号化の情報分割において、第一に情報源出力の冗長度を変換により除去し、第二に変換係数を分割することで符号化効率の低下を最小限に抑えることができることを指摘している。Dispersive Packetization (DP) [1] と呼ばれる Bajic らの手法は、ウェーブレット変換後の係数群をラティスによる数学的技法により均等分割し、 $P$  本のビットストリーム (パケット) を生成する方式である。以下に具体的な処理手順を示す。

同手法は、ウェーブレット係数で構成される 2 次元画像を  $\mathbb{Z}^2$  ラティスの部分空間  $\mathcal{D}$  とし、式 (1)(2) を満たすように  $P$  分割する。式 (2) を満たさず分割した空間が重なる場合、重なる領域に属する信号は複数の領域に含まれるために冗長に符号化される。

$$\bigcup_{i=0}^{P-1} S_i = \mathcal{D} \quad (1)$$

$$S_i \cap S_j = \emptyset, \quad i \neq j \quad (2)$$

分割数  $P$  は、式 (3) で与えられる。 $v_1$  と  $v_2$  がなす領域に含まれるサンプルの数が分割数  $P$  であり、 $v_1$  と  $v_2$  で構成されるベクトル  $V$  の行列式で表される。

$$P = |\det V| \quad (3)$$

$$\text{where } V = \begin{bmatrix} v_{1(x)} & v_{2(x)} \\ v_{1(y)} & v_{2(y)} \end{bmatrix}$$

ラティスによる均等分割は、まずウェーブレット変換後の低域サブバンド信号に対して行われる。分割数  $P$  までのインデックスが各係数に割り振られ、分割はユークリッド空間における 2 点間の距離を最短に保つように行われる。次に、低域サブバンド信号のインデックス情報を元に高域サブバンドの係数群にインデックスを割り振る。高域サブバンド係数群に対する処理は、モジュロを利用した計算式 (4) により行われ、割り振られるインデックスは一意的に定められる。 $N$  は、サブバンドの総数を表し、高域サブバンドはラスト順に処理される。1 段のウェーブ

|            |   |   |   |   |   |   |   |   |            |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|------------|
|            | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 0 |            |
| LL subband | 2 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | HL subband |
|            | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 0 |            |
|            | 2 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 |            |
| LH subband | 2 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | HH subband |
|            | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 0 |            |
|            | 2 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 |            |
|            | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 0 |            |

図 1 ウェーブレット係数群の分割例 (分割数 4)

Fig. 1 Partitioning 4 subbands into four partitions.

レット変換であれば、対象サブバンドは  $N = 4$ , 2 段のウェーブレット変換では、 $N = 7$  となる。 $x$  は、低域サブバンドの座標を表し、 $p(x)$  はそのインデックスを表している。

$$p^{(k)}(x) \triangleq (p(x) + k) \bmod P \quad (4)$$

$$k = 0, 1, \dots, N - 1.$$

このように全係数を  $P$  種類のインデックスにて表現した後、同じインデックスの係数を集めて 1 つの係数集合とし、個別に符号化する。従って各ビットストリームには、ラティスにより分割された低域サブバンド信号とそれ以外のサブバンドの係数群が均等に含まれる。

図 1 に  $P = 4$  の分割パターン例を示す。インデックスは、0 から 3 までの番号で表され、一般的なゼロツリーの対応関係とは異なることがわかる。このモデルにおいて 1 つのビットストリームが欠落することは、あるインデックスの係数群すべてを失うことを意味する。デコーダ側では、欠落した係数を周囲の係数から補間することが可能であり、図 1 に示した例では、低域サブバンドでは 2 次の線形補間、高域サブバンドでは 1 次の線形補間が行える。ただし、HH サブバンドについては補間処理を行わない。同手法は、Embedded Zero Tree Wavelet (EZW) のロバスト改良方式である Packetizable Zero tree Wavelet (PZW) よりも優れた符号化効率を示している。一方で、補間の効果は低域サブバンドに集中しており、高域サブバンドでは必ずしも効果的ではないことが示されている。

### 2.2 Multiple Description Transform Coding

Wang らが提案する Multiple Description Transform Coding (MDTC) [2] では、2 変数のペアをパラメータ  $\theta$  で表される行列で変換し冗長な 2 変数のペアを求めている。入力信号を 2 本のストリームに分割するモデルにおいて、パラメータ  $\theta$  のコントロールにより冗長度を制御可能としている。式 (5) に、MDTC で一般に用いられる変換式を示す。

$$\begin{bmatrix} C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{\cot \theta}{2}} & \sqrt{\frac{\tan \theta}{2}} \\ -\sqrt{\frac{\cot \theta}{2}} & \sqrt{\frac{\tan \theta}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

一般的な 2 変数 MDTC では、行列演算を行う前に係数を量子化する。これは、式 (5) で示された変換行列が必ずしも直交行列ではないためである。それに伴い、MDTC は整数変換行列で実装される。

### 3. フレームによる信号の冗長化

一般的な変換符号化における信号の展開は、一時独立な基底の集合により行われる。変換により得られる係数を符号化対象としており、係数が示す特性は基底の選び方に密接に関係している。フレームは一時独立性を満たさないが、基底と同様に信号をフレームとその係数に展開する。得られるフレーム係数は、基底係数と比較して冗長になる。

フレームはノイズ除去などの画像処理で用いられている [3]。また Contourlet 変換で利用される Laplacian pyramid (LP) がフレームの 1 つであることが指摘されている [4]。

変換行列としてフレームが基底と大きく異なる点は、基底には両側逆行列が存在するが、フレームには左逆行列のみが存在することである。

#### 3.1 フレームの定義

フレームは次のように定義される。ヒルベルト空間  $\mathcal{H}$  における関数の族  $\{\phi_j\}_{j \in J}$  について、定数  $A, B$  が  $0 < A \leq B < \infty$  を満たし、任意の関数  $f \in \mathcal{H}$  について式 (6) が成立するとき、関数の族  $\{\phi_j\}_{j \in J}$  はフレームをなすという [5]。

$$A\|f\|^2 \leq \sum_{j \in J} |\langle f, \phi_j \rangle|^2 \leq B\|f\|^2 \quad (6)$$

式 (6) の  $A$  と  $B$  はフレーム限界と呼ばれ、 $f$  が安定に再構成可能であるための制限である。フレーム限界が  $A = B$  であるときをタイトフレームという。また、 $A = B = 1$  かつ  $\|\phi_j\| = 1$  であるとき、関数の族  $\{\phi_j\}_{j \in J}$  は、ヒルベルト空間  $\mathcal{H}$  の正規直交基底である。

#### 3.2 フレーム展開

フレームには右逆行列が存在しないが、入力信号を一意に展開することは可能である。 $M$  行  $N$  列で表される行列  $F$  において、 $F$  の行ベクトル  $\{\phi_j\}$  が  $\mathbb{C}^N$  に対するフレームをなすとす。このとき、 $\{\phi_j\}$  の双対フレーム  $\{\tilde{\phi}_j\}$  を用いると、

$$f = \sum_{j \in J} \langle f, \phi_j \rangle \tilde{\phi}_j = \sum_{j \in J} \langle f, \tilde{\phi}_j \rangle \phi_j \quad (7)$$

とフレーム展開され、フレームがタイトフレームであるならば、

$$f = \frac{1}{A} \sum_{j \in J} \langle f, \phi_j \rangle \phi_j \quad (8)$$

と展開される。双対フレーム  $\{\tilde{\phi}_j\}$  を列ベクトルとする  $F^+$  を疑似逆行列と呼び、

$$F^+ = (F^*F)^{-1}F^* \quad (9)$$

と表される。 $F^*$  は  $F$  の随伴行列でありフレームでは  $F^+F = I$  が成り立つ。タイトフレームにおいては、フレーム限界  $A$  が冗長率を表しており、正規直交基底では  $A = B = 1$  であるため、冗長ではないことは明らかである。

#### 3.3 MB フレーム

Mercedes-Benz (MB) フレームは、代表的なタイトフレームである [6]。式 (10) に MB フレームを示す。

$$\phi_1 = (0, 1)$$

$$\phi_2 = (-\sqrt{3}/2, -1/2) \quad (10)$$

$$\phi_3 = (\sqrt{3}/2, -1/2)$$

このフレームを利用すると入力信号  $x \in \mathbb{C}^2$  は、式 (8) を用いて式 (11) のように展開される。

$$x = \frac{2}{3} \sum_{j=1}^3 \langle x, \phi_j \rangle \phi_j \quad (11)$$

フレーム限界は  $A = 3/2$  であるので、このフレーム展開を用いるとフレーム係数による 1.5 倍の冗長な信号表現となる。展開により得られるフレーム係数は、式 (12) を解いて得られる双対フレームにより入力信号  $x$  を再構成する。

$$\tilde{\phi}_j = (F^*F)^{-1}\phi_j \quad (12)$$

MB フレームはタイトフレームであるから、 $(F^*F)^{-1} = 2/3$  として簡単に求めることができる。MB フレームの双対フレームを式 (13) に示す。

$$\tilde{\phi}_1 = (0, 2/3)$$

$$\tilde{\phi}_2 = (-\sqrt{3}/3, -1/3) \quad (13)$$

$$\tilde{\phi}_3 = (\sqrt{3}/3, -1/3)$$

この例では、フレームを  $\sqrt{2/3}$  倍することにより入力信号とフレーム係数が等しいノルムで表現される。

## 4. 提案手法

本章では、フレーム展開を利用した信号の冗長度制御方式について述べる。

#### 4.1 フレーム展開による冗長度制御方式

図 2 に提案方式の概念図を示す。提案方式ではまず、入力画像の空間的な冗長度を削減するために変換を行う。次に、全係数を  $N$  個の係数群に分割する。分割数は、フレーム展開で利用する行列のランクに一致する。フレーム展開により、 $N$  個の入力係数を  $M$  個のフレーム係数に変換し、量子化した後、出力を  $M$  本の通信路を利用して独立に伝送する。デコーダ側では、これらの逆処理を行うことで再構成画像を得る。通信路でパケットロスが生じた場合であっても、フレームにより係数が冗長に表現されているため、その冗長度に応じた精度の係数が再構成される。

本検討では、フレーム展開に前節で述べた MB フレームを利用する。MB フレームの冗長率は  $3/2$  であるため、フレーム係数は入力ウェーブレット係数に対して  $3/2$  の冗長率を持つ。デコーダ側では、再構成されたウェーブレット係数を補間せずに直接ウェーブレット逆変換する。欠落したフレーム係数の補間、もしくは高域サブバンドにおけるウェーブレット係数の高精度の補間は、Projections onto Convex Sets (POCS) などを利用することにより実現可能であるが [7]、本検討では処理の複雑性を考慮して検討外とする。

フレーム展開を多重記述符号化に応用する研究は、Goyal ら

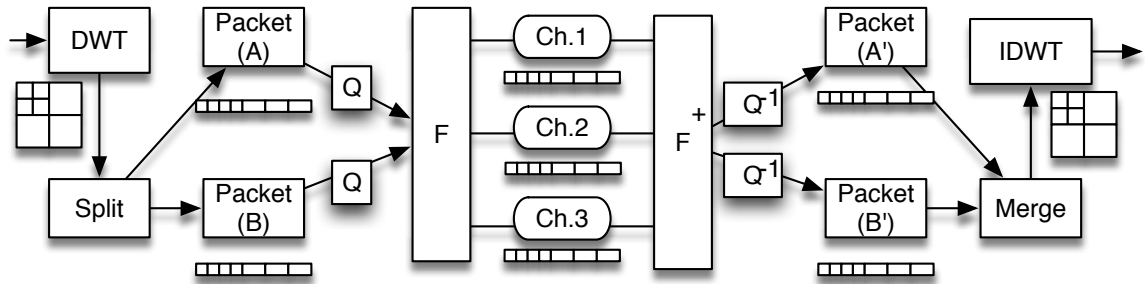


図 2 提案符号化の概念図  
Fig. 2 Diagram of proposed codec.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |

(1) Lattice (2) EZW

図 3 ウェーブレット係数の分割

Fig. 3 Partitioning wavelet coefficients.

によって行われている [8]. 信号をフレーム展開することでノイズや量子化にロバストになることを指摘し、オーバーサンプルなフィルタバンクとして実装している [6]. 本検討は、ウェーブレット係数をフレーム展開する点で Goyal らのモデルと異なる。また、本手法ではフレーム展開により  $N$  入力の変数から  $M$  本のチャンネルを直接求めることができ、量子化はフレーム係数に対して行う。この点において MDTC と異なる。

#### 4.2 予備実験

前節で示した提案手法において、フレーム展開するウェーブレット係数の信号列を決定するための予備実験を行った。

##### 4.2.1 パケット間の情報量

提案手法では信号に冗長度を与えるためにフレーム展開を利用する。そのためフレームに入力される信号系列間の冗長度は最小化されていることが望まれる。そこで、ウェーブレット変換係数群を、図 3-(1) に示す DP で利用されるラティス分割と、図 3-(2) に示すゼロツリー分割の双方で分割する場合を比較する。図 3 は、 $8 \times 8$  画素の画像を 3 段階ウェーブレット変換し、それを 2 分割した場合のインデックスの対応である。

系列間に残される冗長度を定量的に調べるため、相互情報量を用いる。実験では 4 つに分割した系列のすべての組み合わせについて、相互情報量を計測した。各係数は整数値に量子化している。表中の  $A, B, C, D$  は、分割された係数群の系列を表している。ウェーブレット変換には 9/7-Daubechies フィルタを利用し、レベル 5 まで分割を行った。入力画像は Lena と Barbara であり、それぞれ  $512 \times 512$ [pel] のグレースケール画像である。

表 1 と表 2 において Baseband と示した列は、ウェーブレット変換による解析を行わずに画素を直接サブサンプリングした場合である。表より、フレームへの入力としては、ウェーブレット変換係数を入力する方が望ましく、ラティス分割とゼロツリー分割との比較では、ゼロツリー分割が望ましいと考えられる。

##### 4.2.2 係数ペアの相関係数

前章で述べた MB フレームは、2 次元平面上において 120 度の角度をなす 3 つのベクトルである。従って 2 つのウェーブレット係数はペアとしてフレーム展開され、3 つのフレーム係数に変換される。この時、入力する変換係数の分布に偏りが存在すると、フレーム係数を逆変換するときの再構成に偏りを生じると考えられる。

そこで、2 つペアとした変換係数を 2 次元平面上にプロットし、その相関係数を計測した。全係数をプロットした結果、相関係数が 0 に近ければ MB フレームの 3 ベクトルに対する偏りが少ないと考えられる。表 3 に結果を示す。相関係数は、低域サブバンド係数とそれ以外の高域サブバンドに分けて計測した。表 3 における LL は、低域サブバンドのみの相関係数を表して

表 1 分割係数間の相互情報量 (Lena)

Table 1 Mutual information between trees (Lena)

| Pair | Lattice | EZW   | Baseband |
|------|---------|-------|----------|
| A-B  | 0.073   | 0.056 | 2.70     |
| A-C  | 0.063   | 0.049 | 2.23     |
| A-D  | 0.075   | 0.048 | 2.31     |
| B-C  | 0.075   | 0.047 | 2.31     |
| B-D  | 0.063   | 0.046 | 2.22     |
| C-D  | 0.076   | 0.056 | 2.70     |

表 2 分割係数間の相互情報量 (Barbara)

Table 2 Mutual Information between trees (Barbara)

| Pair | Lattice | EZW   | Baseband |
|------|---------|-------|----------|
| A-B  | 0.137   | 0.068 | 2.10     |
| A-C  | 0.119   | 0.040 | 1.76     |
| A-D  | 0.136   | 0.053 | 1.88     |
| B-C  | 0.136   | 0.053 | 1.89     |
| B-D  | 0.120   | 0.046 | 1.75     |
| C-D  | 0.136   | 0.068 | 2.09     |

表 3 係数ペアの相関

Table 3 Correlation between pair of coefficients

| Image   | Lattice | EZW      | LL    |
|---------|---------|----------|-------|
| Lena    | -0.182  | -0.00150 | 0.330 |
| Barbara | -0.239  | 0.00265  | 0.584 |

いる．表 3 より，低域サブバンドの係数ペアはラティス分割およびゼロツリー分割の高域サブバンドの係数ペアよりも偏りが生じていることがわかる．また，ラティス分割とゼロツリー分割での比較では，ラティス分割を行う場合がより偏りが大きいことがわかる．これは，分割数が 2 のラティス分割では高域サブバンドにおいても隣り合う係数のインデックス (0,1) が交互に並ぶため，フレーム展開の入力が局所的な領域の係数ペアになるためと考えられる．

## 5. 実験

提案手法の性能を評価するための符号化実験を行い，冗長さの変化によるエラー耐性について評価した．

### 5.1 実験条件

ウェーブレット変換には，9/7-Daubechies フィルタを利用し，入力画像は，512 × 512[pe]，グレースケールの Lena および Barabara を用いた．ウェーブレット変換は 5 段階まで行った．従来手法では，パケット化したウェーブレット係数をデッドゾーン付き一樣量子化器にて量子化した．提案手法では，パケット化したフレーム係数を従来手法と同様の量子化器を用いて量子化した．

従来手法のビットレートとして，量子化したウェーブレット係数の平均情報量を算出し，提案手法のビットレートとして量子化したフレーム係数の平均情報量を算出した．従来手法と提案手法で同じビットレートになるように符号化した画像を，複数チャンネルに独立伝送するモデルを想定した．従来手法は 4 分割ラティスを用い，提案手法ではラティス分割とゼロツリー分割の双方を採用した．ラティス分割を利用する手法を提案手法 1，ゼロツリー分割を利用する手法を提案手法 2 とする．どちらの手法もウェーブレット係数は 2 分割し，その後 MB フレームを利用した変換によりフレーム係数は 3 分割されている．

本実験では，全サブバンドの係数群について量子化を行うが，PSNR 値の計測では低域サブバンド信号 (256 個) はパケットロスの影響を受けないものとする．これは，低域サブバンドの欠落による PSNR の低下は著しく，フレーム展開が必ずしも有効ではないことを予備実験で確認しているためである．

パケットロス (エラーレート) は，伝送するパケットを欠落することで行う．従来手法の場合，伝送対象の 4 パケットはそれぞれ独立に伝送されるが，このうち 1 つの経路においてパケットが欠落することを 25[%] のパケットロスとしている．提案方式においては，1 つの経路におけるパケットの欠落が 33[%] のパケットロスとなる．

### 5.2 実験結果

Lena を用いた実験結果を図 4 と図 5 に示す．前者は，伝送前のビットレートが 0.2[bpp]，後者が 0.4[bpp] である．また，

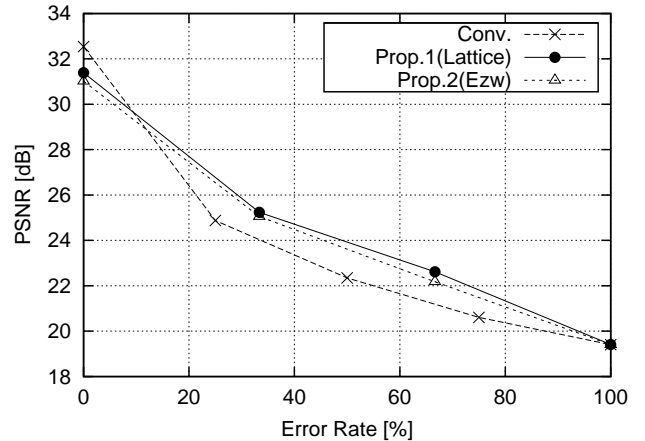


図 4 再構成画像の品質 (Lena, 0.2[bpp])

Fig. 4 PSNR of reconstructed image (Lena, 0.2[bpp]).

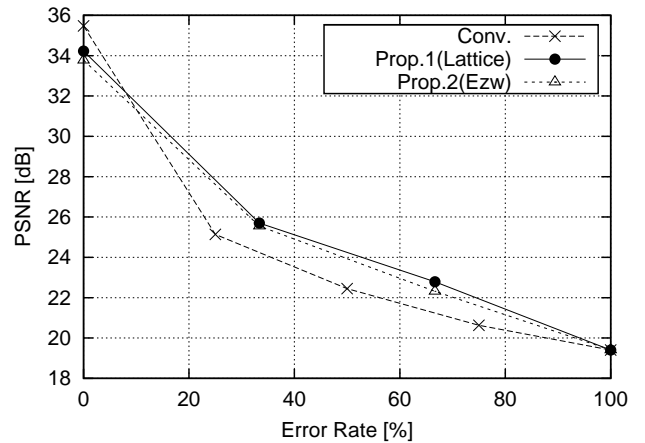


図 5 再構成画像の品質 (Lena, 0.4[bpp])

Fig. 5 PSNR of reconstructed image (Lena, 0.4[bpp]).

Barbara を用いた実験結果を図 6 と図 7 に示す．同様に，前者は 0.2[bpp] であり後者が 0.4[bpp] である．

全ての結果に共通して，パケットロスが生じない場合は従来手法の PSNR 値が提案手法を上回っている．Lena では約 2[dB]，Barbara では約 1[dB] の差がある．これは，提案手法のビットストリームがフレーム展開により冗長さ化されているためである．一方，パケットロスが生じると，PSNR 値は提案手法が従来手法を約 1 から 2[dB] 程度上回っていることがわかる．これは，複数ビットストリーム間の冗長度が従来手法より高まり，エラー耐性が向上したためと言える．

次に，0.2[bpp] で符号化した Lena を 1 パケット欠落した状態で再構成した画像の主観評価を行った．図 8 に従来手法，図 9 に提案手法 1 を示す．エラーレートが異なるため，直接的な比較は困難だが，提案手法は従来手法よりもエラーレートが高いにも関わらず，極端な劣化がみられない．ただし，フレーム係数欠落の影響が周期的なアーティファクトとなって現れており，視覚的な品質を下げている．これは，欠落したフレーム係数の推定および補間の必要性を示していると考えられる．

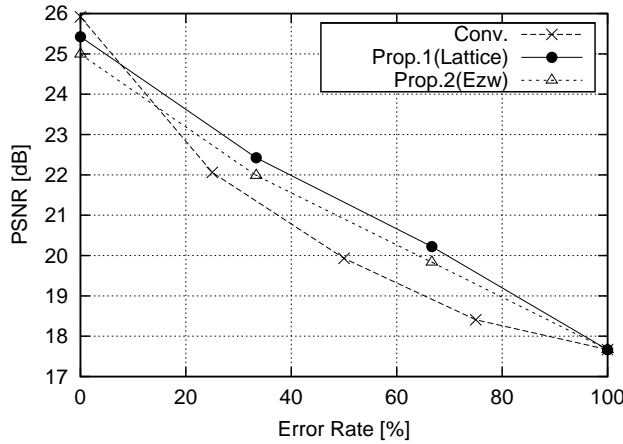


図 6 再構成画像の品質 (Barbara, 0.2[bpp])

Fig. 6 PSNR of reconstructed image (Barbara, 0.2[bpp])

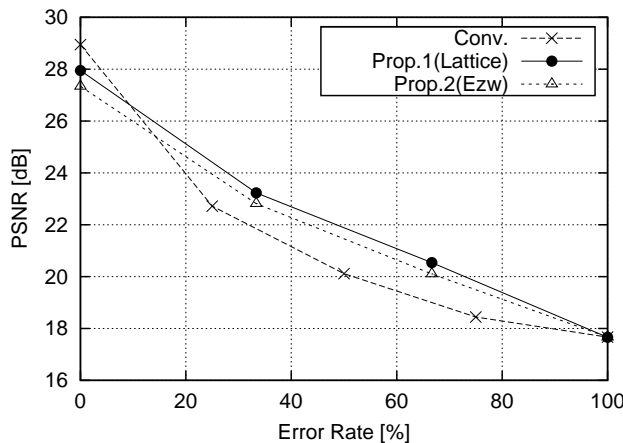


図 7 再構成画像の品質 (Barbara, 0.4[bpp])

Fig. 7 PSNR of reconstructed image (Barbara, 0.4[bpp])

## 6. むすび

本検討では、フレーム展開により信号を冗長化する方法を提案した。提案手法は、ウェーブレット係数に 1.5 倍の冗長度を与える MB フレームを用いてフレーム係数群を得ている。実験により、ウェーブレット係数を均等分割するのみの従来手法と比較して、フレーム展開を用いる提案手法が、パケットロスの生じる環境においてエラー耐性が高まることを示した。今後は、MB フレーム以外のフレームを利用したフレーム展開による任意の冗長度を与える方式について検討を行う。

### 文 献

- [1] I.V. Bajic, and J.W. Woods, "Domain-Based Multiple Description Coding of Image and Video," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol.12, no.10, pp.1211-1225, Oct. 2003.
- [2] Y. Wang, A.R. Reibman, M.T. Orchard, and H. Jafarkhani, "An Improvement of Multiple Description Transform Coding," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.50, no.11, pp.2843-2854, Nov. 2002.
- [3] J. Kovacevic, and A. Chebira, "Life Beyond Bases: The Advant of Frames (Part II)," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol.24, no.5, pp.115-125, Sep. 2007.
- [4] M.N. Do, and M. Vetterli, "Framing Pyramids," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.51, no.9, pp.2329-2342, Sep.



図 8 従来手法 (24.88[dB])

Fig. 8 Conventional method (24.88[dB]).



図 9 提案手法 (25.23[dB])

Fig. 9 Proposed method (25.23[dB]).

2003.

- [5] I. Daubechies, *Ten Lectures On Wavelets*, I. Daubechies, ed., Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.
- [6] J. Kovacevic, P.L. Dragotti, and V.K. Goyal, "Filter Bank Frame Expansions With Erasures," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.48, no.6, pp.1439-1450, Jun. 2002.
- [7] P.A. Chou, S. Mehrotra, and A. Wang, "Multiple Description Decoding of Overcomplete Expansions Using Projections onto Convex Sets," *Proc. of Data Compression Conference*, pp.72-81, 1999.
- [8] V.K. Goyal, J. Kovacevic, and M. Vetterli, "Quantized Frame Expansions as Source-Channel Codes for Erasure Channels," *Data Compression Conference*, pp.326-335, Mar. 1999.