

方向性フィルタバンクによる多重記述符号化に関する検討

石川 孝明[†] 渡辺 裕[†]

[†] 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大久保山 1011
E-mail: †takaxp@fuji.waseda.jp

あらまし 近年、信頼性の高い映像通信を可能にする符号化技術として Multiple Description Coding (MDC) が注目されている。MDC は、入力信号を複数のビットストリームに符号化し、それぞれを独立したチャンネルで伝送することにより高いロバストネスを実現している。これまで、入力信号を空間領域でサブサンプリングにより分割し、各分割画像を JPEG 2000 を用いて符号化する手法や、ウェーブレット変換後の係数群を周波数領域で 2 次元ラティス分割する手法などが提案されている。しかし、各ストリーム間の冗長性制御と符号化効率の点で改善する余地が残されている。本検討では、新たな分割手法として Directional Filter Banks (DFBs) を利用する方式を提案する。伝送する係数を欠落するシミュレーションにおいて、提案手法は従来手法と比較して同じロスレートでほぼ同じ PSNR 値となった。また主観評価では、ローパスバンド係数の欠落による画質への影響が従来手法と比較して低下する場合があることを確認した。

キーワード 帯域分割, 方向性フィルタバンク, 多重記述符号化, 画像符号化

A Study on Multiple Description Coding with Directional Filter Banks

Takaaki ISHIKAWA[†] and Hiroshi WATANABE[†]

[†] Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University 1011
Okuboyama, Nishitomida, Honjo, Saitama 367-0035 Japan
E-mail: †takaxp@fuji.waseda.jp

Abstract Multiple Description Coding (MDC) has attracted a lot of attention to realize robust image and video delivery. MDC encodes a source image or video into multiple bitstreams called descriptions, which can be transmitted on independent communication channels. On reception, these descriptions can be combined and decoded to reconstruct the encoded source image or video. Many methods to partition the source have been proposed. One method is to split an input image in the spatial domain by sub-sampling. Another method is to partition Discrete Wavelet Transform (DWT) coefficients using Lattice in the frequency domain. However, these methods suffer from issues such as low coding efficiency, and inadequate redundancy control among the divided descriptions. We propose a new method to partition the source by using Directional Filter Banks (DFBs). We compare the DWT method and proposed method with respect to PSNR with increased packet (data) loss. The simulation results show that at almost the same quality in PSNR the visual quality is quite different, as are the details of reconstructed images.

Key words Frequency Partitioning, Directional Filter Banks, Multiple Description Coding, Image Coding

1. はじめに

近年、インターネットを始めとするネットワークを利用したマルチメディアコンテンツの流通が盛んに行われている。特に動画コンテンツは、広帯域のブロードバンド回線から比較的狭帯域の無線ネットワークまで広く流通し、異なるネットワークを超えた幅広いサービスが求められている。また、ユーザの

映像視聴環境は、携帯端末、HDTV、デジタルシネマなどの様々な解像度を持ち多様化している。

一方で映像・画像符号化は高能率化が進み、2000年に JPEG 2000、2003年に H.264/AVC が標準化されている。現在も多くの拡張方式が検討され、標準化が推し進められている。これに対し、よりネットワークの特性を考慮した符号化方式を確立する研究も盛んに行われている。

これまでに実ネットワーク上において QoS (Quality of Service) を保証する様々な手法が試されてきたが、システムが複雑になることによる導入コスト上のデメリットが大きいとされている。これに対し、ネットワーク QoS の保証を完全に制御するのではなく、変動するネットワーク帯域帯域に応じた配信ビットレートの動的制御のアプローチが現実的であると考えられている [1]。

このように、ネットワークを用いたサービスを前提として符号化方式を検討することは、符号化効率の追求に加え、低コストで様々なサービスを実現可能にするために必要不可欠であると考えられる。そこで本研究では、ロバストな映像配信や低遅延伝送の実現が可能であるとされる Multiple Description Coding (MDC) に着目し、MDC の高効率化および動的な冗長性制御の実現を目的として Directional Filter Banks (DFBs) を応用した MDC を提案する。

2. Multiple Description Coding

Multiple Description Coding (MDC) は、1980 年代に、音声通信におけるチャンネル分離を実現するための方式として研究された [2]。通常は 1 つのチャンネルで伝送する音声データを 2 つに分離し、別々の経路を用いて伝送する。2 つのチャンネルのうち仮に 1 つのチャンネルが切断されたとしても、他方のチャンネルのみで低品質の音声再生されるため、途切れの無い通信が行われる。2 つのチャンネルが共に有効な場合にはより高品質な通信が行われる。

近年になり MDC は、ベストエフォート型のインターネットにおいてより確実にマルチメディア情報を伝送するための符号化方式として注目が集められている。MDC により符号化された画像や映像は、複数の独立したビットストリームとして蓄積される。各ビットストリームを別々の経路を用いてクライアントに伝送すれば、パーストなどによるパケットロスの影響を分散することが可能となる。また、MDC による映像配信では、パケットの優先制御や再送制御をすることなく必要な品質の映像を配信できるため、ビデオ電話やテレビ会議などリアルタイム性が強く要求されるアプリケーションに適している。

2.1 情報理論による解釈

シャノンの通信モデルでは、単一情報源出力を単一の通信路を通じて伝送することを想定し、歪み D を実現する最小の符号化レート R がレート歪み関数 $R(D)$ で与えられる。一方 MDC では、単一の情報源出力を複数の通信路を通じて伝送し、復号

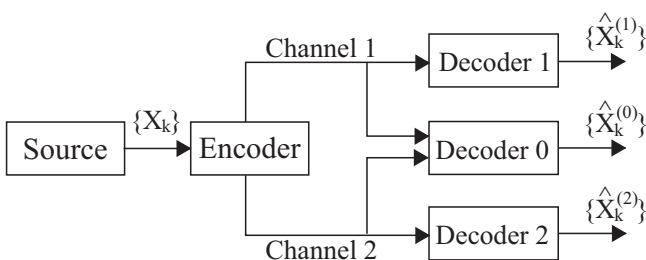


図 1 Two channels and three receivers model

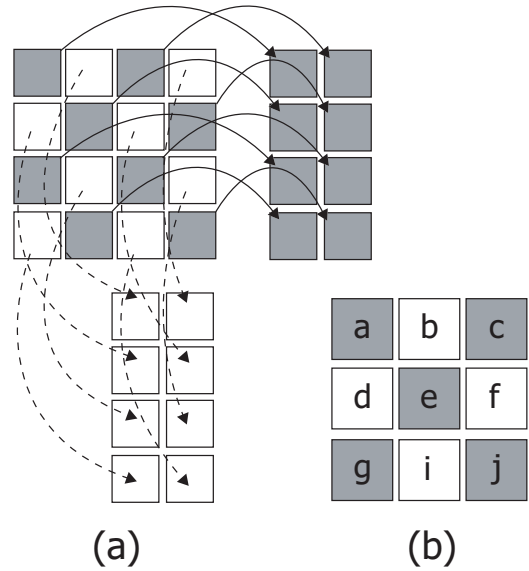


図 2 Spatial partitioning (TAT)

器ごとに異なる歪み D_n で復号されるモデルである。従って、許容レート領域は従来とは異なり、その導出は複雑な問題となる。一般に、チャンネル数が N である場合には、 2^{N-1} の異なる歪み許容値で復号する復号器を定義できる。このような問題は、*MD problem* と呼ばれている。

1982 年に Cover らによって 2 チャンネル 3 レシーバの MDC モデルが定式化されている [3]。図 1 に 2 チャンネル 3 レシーバモデルにおける符号化器と復号器の関係を示す。このモデルでは、情報源より発生するシンボルを X_k とし、これを 3 種類の復号器 $D_i, i = 0, 1, 2$ で復号する。 D_1 と D_2 は、1 つのチャンネルの情報のみ受信し、 D_0 は 2 つのチャンネルからの情報を受信する。チャンネル 1 およびチャンネル 2 の伝送レートをそれぞれ R_1, R_2 で表すと、このモデルは R_1, R_2, D_0, D_1, D_2 を用いて表現され、ガウシアン無記憶情報源の場合に一般に解かれている [4]。 N チャンネルまで拡張したモデルについては、Puri らが定式化を行っている [5] [6]。

MDC の一般的な性質として、情報源出力をどのように分割しても、 D_0 が最小化されている場合には、 D_1 の歪みが大きくなるが示されている。一方、 D_1 を最小化したければ、 D_0 を与えるレート $R(= R_0 + R_1)$ が、 D_0 を最小化する R^* を上回るが示されている。このときの差分レート $R - R^*$ を ρ で表記し、Redundancy と呼ばれる。MDC では、この冗長度 ρ と符号化効率のバランスを保つことが重要となる。

2.2 従来手法

MDC の従来手法は、符号化対象の情報分割、相関情報除去のための変換方式、ストリーム間の冗長情報の制御などの観点から複数の手法が提案されている。本検討では、符号化対象の情報分割手法に着目する。

以下に、空間領域における分割を行う手法と周波数領域における分割を行う代表的な手法について述べる。

2.2.1 空間領域の分割による MDC

松村らは、入力画像を図 2-(a) のように水平・垂直方向に画

	0	1	2	3	1	2	3	0	
LL-bnad	2	3	0	1	3	0	1	2	HL-bnad
	0	1	2	3	1	2	3	0	
	2	3	0	1	3	0	1	2	
LH-bnad	0	1	2	3	1	2	3	0	HH-bnad
	2	3	0	1	3	0	1	2	
	0	1	2	3	1	2	3	0	

図3 Partitioning 4 subbands into four partitions

素単位でサブサンプリングすることで、空間領域での分割を行い異なるビットストリームを生成する手法を提案している [7]. 松村らの分割手法は、TAT (Time-Axis Transform) 方式と呼ばれている. 動画に適用する場合に、伝送路に 2% 以上のパケットロスが発生すれば既存方式よりも有効であることを示している. また、藤吉らは TAT 方式による空間分割を行った後、各サブサンプル画像を JPEG 2000 符号化器に入力する方式を提案している [8]. パケットサイズとコードブロックサイズの関係性に着目することで、同手法は MDC を利用しないコードブロックの補間手法と比較し 20[dB] 以上のゲインを得ている.

TAT 方式を用いた空間領域の分割では、伝送後の画像において画素が欠落した場合に、式 (1) を用いた線形補間を行う.

$$e = \frac{1}{4}(b + d + f + i) \quad (1)$$

予備実験として 1 つのチャンネルの画素情報のみを用い、式 (1) による補間を行った結果、原画像に対して約 37[dB] 程度の品質を有することを確認した. しかし、チャンネル分割数 N が 3 以上になる場合、分割された画素間の相関は小さくなるために補間精度が低下する. このような空間的な分割による課題を解決する手法として、周波数領域での分割手法がある.

2.2.2 周波数領域の分割による MDC

Bajic らは、ウェーブレット変換後の係数群に対しラティスによる分割を施すことで、 N 分割のビットストリームを生成する手法を提案している [9]. この手法では、画像を \mathbb{Z}^2 ラティスの部分空間 D とし、式 (2) 式 (3) を満たすように N 分割する.

$$\bigcup_{i=0}^{N-1} S_i = D \quad (2)$$

$$S_i \cap S_j = \emptyset, \quad i \neq j \quad (3)$$

分割は、ユークリッド空間における 2 点間の最短距離を保つように行われる. 図 3 に $N = 4$ の分割パターン例を示す. 0 から 4 の同じ番号で示された係数を集め、それぞれを独立したビットストリームに符号化する.

この手法を用いた標準画像 Lena の符号化では、SPIHT による単一ビットストリームへの符号化結果と比較して約 1[dB] 程度の劣化になることを示している. 一方で、空間領域の分割による MDC よりも符号化効率が良いとしている. これは、情報源出力の分割を冗長性を除去する直交変換などの処理後に行

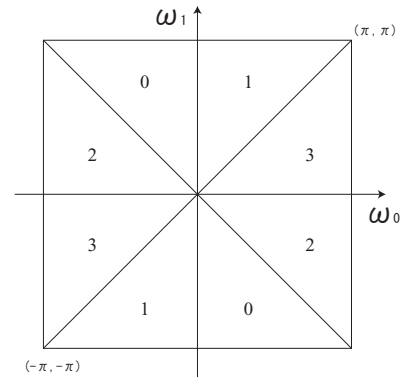


図4 Directional Subband Division

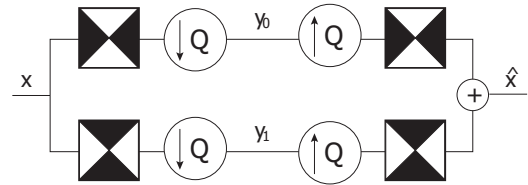


図5 Structure of 2-channel DFBs

うことで、 D_0 の符号化効率が改善されるためである. しかし、分割されたビットストリーム間の相関性が失われるため、頻繁にパケットロスが発生するような伝送路には必ずしも適していない.

3. 提案手法

本検討では、方向性フィルタバンクを用いた MDC を提案する. 方向性フィルタバンクは、2 次元の方向情報を画像から抽出することができるため、画像解析やノイズ除去などに応用されている [10]. 従来の分離型フィルタによる画像の 2 次元解析は、主に点の情報を表現することに優れているが、方向性フィルタバンクは線やエッジの情報を表現することに優れているとされる.

3.1 方向性フィルタバンク

本提案手法では、図 4 のように帯域分割を行う方向性フィルタバンクを用いる. 帯域分割は、2 次元の帯域を 2 つに分割するファンフィルタを組み合わせで行う. 図 5 に、方向性フィルタバンクの構造を示す. 方向性フィルタバンクでは、ファンフィルタと 5 の目状のサンプリング格子を組み合わせることで、最大間引き完全再構成を実現する. サンプリング格子 Q は、式 (4) のような回転を含む変換式で表される.

$$Q_0 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad Q_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

図 5 のダウンサンプリングでは Q_0 を用い、アップサンプリングでは Q_1 を用いる. 帯域分割により得られる信号 y_0 と y_1 に対し、同じ構造の方向性フィルタを再び施すことにより、4 つのサブバンドを得ることができる. ただし、サンプリング格子は逆回転要素の変換式を選ぶ必要がある. 分割前の空間を W とすると各サブバンドは、式 (5) で表される.

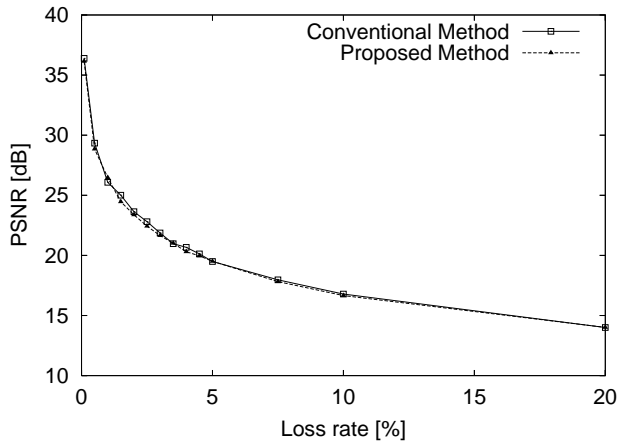


図 6 PSNR with respect to loss rate (Lena)

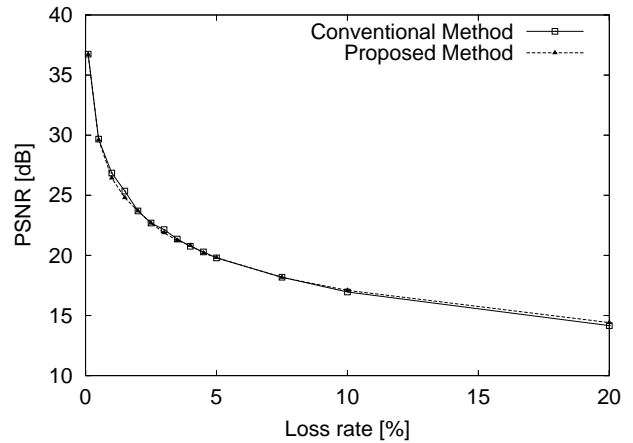


図 7 PSNR with respect to loss rate (Barbara)

$$W = \bigoplus_{i=0,1,2,3} W_i \quad (5)$$

このように分割した各帯域の係数を異なるチャンネルに分割して伝送し、受信した係数を合成することにより再構成画像を得る。チャンネルにおける係数の欠落が発生しなければ、再構成画像は入力画像と同一となる。

4. 実験

4.1 実験条件

本節では、画像の分割数が $N = 4$ となる MDC を想定し、ウェーブレット変換とラティスによる分割を組み合わせた従来手法と方向性フィルタバンクによる提案手法とを比較した。入力画像として、Barbara, Lena, Baboon, GoldHill, Peppers, ゾーンプレートの 6 種類の画像を用いた。ただし、各画像はグレースケール画像である。

従来手法による画像の分割は、9/7-Daubechies フィルタによる帯域分割を垂直水平に各 1 回だけ行い、各帯域の係数を図 3 に示したラティスによる分割を行った。提案手法による画像の分割は周波数領域で DFT を用いて行い、4 種類のサブバンドを得た。これら $N = 4$ の係数群を係数のロスレートの等しい独立のチャンネルを用いて伝送するようにシミュレーションした。各チャンネルにおける係数ロスの与え方は一様分布とし、係数を直接間引いた。今回の実験では、 $N = 4$ の各係数群を用いた画像の再構成において、間引かれた係数の補間処理は行っていない。

4.2 実験結果

まず、係数のロスレートと PSNR の関係について述べる。図 6, 図 7 は、間引きを行い係数値をゼロとした係数の割合と、再構成後の画像と原画像との PSNR の値を示している。図 6, 図 7 はそれぞれ、Lena と Barbara に対する実験結果である。従来手法と提案手法を共通してエラーレートが高くなるにつれ PSNR の値が低下していることが分かる。各ロスレートにおける PSNR の値を比較では、提案手法が従来手法を若干下回っているが、全体としてはほぼ同程度の品質であると言える。

次に、エラーレートが 1.0% と 7.5% である場合における

Lena と Barbara の再構成画像を示す。図 8 と図 9 に従来手法による再構成画像、図 10 と図 11 に提案手法による再構成画像を示す。

従来手法による再構成画像では、画像上にランダムな画素抜けが見られる。これは、各チャンネルにおいてローパスバンド係数が部分的に間引かれた結果、再構成後画像が劣化したことを意味している。ハイパスバンド係数が間引かれる影響は画像を拡大した場合に認識される。

一方、提案手法による再構成画像は画像全体のシャープネスが失われ、部分的にクロス状の劣化が見られる。クロス状の劣化は、周波数変換に DFT と IDFT を用いたために、ギブス現象の影響が画像に表れたためと考えられる。また、部分的にサブバンド係数が失われることによる影響は、画像の平坦部分で強く表れることが分かる。

このように、従来手法と提案手法では異なる性質の画像劣化を示すことが分かった。提案手法における平坦部分での劣化を抑えるためには、低域成分を別のサブバンドとして分割する方向性フィルタバンクなどの利用が効果的であると考えられる。

5. おわりに

本検討では、方向性フィルタバンクによる帯域分割を MDC に応用するための基礎検討を行った。実験より、提案手法はチャンネルごとにランダムな係数ロスが発生する場合に従来手法と同程度の PSNR 値を示し、主観品質では、ローパスバンド係数の欠落の影響がクロス状の劣化として表れることを確認した。今後は、低域成分を独立に分割する方向性フィルタバンクの利用や、方向性の情報を利用した係数の復元、係数情報の階層符号化に関する検討を行う予定である。

文献

- [1] 花村剛, “ブロードバンド映像配信におけるストリーム配信制御技術,” 映像情報メディア学会誌, vol.58, no.11, pp.1579-1583, Nov 2004.
- [2] V. Goyal, “Multiple Description Coding: Compression meets the network,” IEEE Signal Processing Mag., vol.18, pp.74-93, Sep. 2001.
- [3] A.A.E. Gamal, and T.M. Cover, “Achievable Rates for Multiple Descriptions,” IEEE Trans. on Information Theory, vol.28, no.6, pp.851-857, Nov. 1982.



図 8 Reconstructed image with conventional method (Lena, $r=1.0$)



図 10 Reconstructed image with proposed method (Lena, $r=1.0$)



図 9 Reconstructed image with conventional method (Barbara, $r=7.5$)

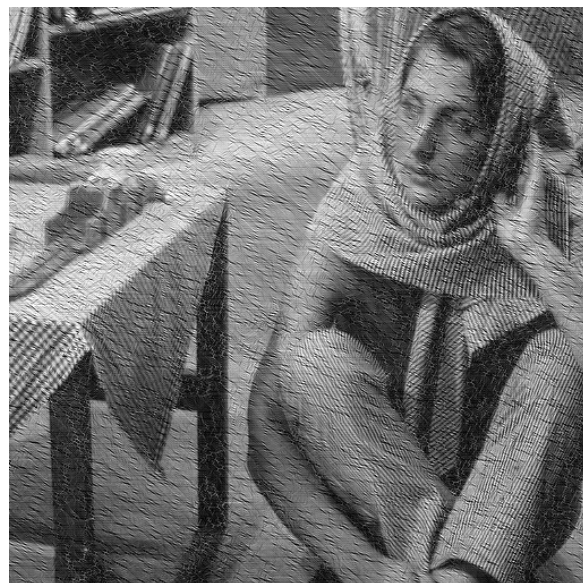


図 11 Reconstructed image with proposed method (Barbara, $r=7.5$)

[4] L. Ozarow, "On a Source Coding Problem with Two Channels and Three Receivers," *Bell Syst. Tech. J.*, vol.59, p.1921, 1980.

[5] S.S. Pradhan, R. Puri, and K. Ramchandran, "n-Channel Symmetric Multiple Descriptions - Part I: (n,k) Source-Channel Erasure Codes," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.50, no.1, pp.47-61, Jan. 2004.

[6] R. Puri, S.S. Pradhan, and K. Ramchandran, "n-Channel Symmetric Multiple Descriptions - Part II: An Achievable Rate-Distortion Region," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.51, no.4, pp.1377-1392, April 2005.

[7] 松村宏基, 藤井俊章, 谷本正幸, "サブサンプリングを用いたマルチストリーム動画伝送方式の検討," *AVM39*, pp.29-34, Dec. 2002.

[8] 藤吉正明, 長葉真一, 貴家仁志, "コードブロック単位処理を用いた JPEG 2000 符号化画像のための MDC 法," *電子情報通信学会 信学技報 SIP*, vol.66, pp.15-20, Jul. 2005.

[9] 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, 2003.

[10] T.T. Nguyen, and S. Orantara, "Multiresolution Direction Filterbanks: Theory, Design, and Applications," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.53, no.10, pp.3895-3905, Oct. 2005.