

画像の不確定性符号化におけるレート制御方式に関する検討 A Study on Rate Control Method for Uncertainty Image Coding

石川 孝明 渡辺 裕

Takaaki Ishikawa Hiroshi Watanabe

早稲田大学 国際情報通信研究センター

Global Information and Telecommunication Institute

Abstract: We propose a new approach for image coding by applying an uncertainty to a construction of multiple bitstreams. Each of the multiple bitstreams have the same bitrate and the same distortion to represent a single image. In this paper, we apply the alternating projections method on a frame expansion of images to control the bitrate of multiple bitstreams. Experimental results show that these bitstreams have the same bitrate and the same distortion with different combination of frame coefficients.

1 はじめに

ネットワークを利用した映像配信サービスのユーザは今後も増加し、サービスを提供するサーバの負荷が増大すると予想される。これに対し、サーバが提供するサービスの一部をクライアント間の情報伝達により代替できるならば、サーバへの負荷を軽減できると考えられる。

本研究は、通常、ユーザがサーバに対して行う高画質コンテンツの取得要求を、他のクライアントに対する要求で代替可能とする符号化技術の確立を目的としている。これまでに、JPEG 2000 符号化方式におけるウェーブレット係数の量子化を確率的に制御することにより、異なる構造のビットストリームを生成し、それらの交換により画質が向上することを示している [1]。

本検討では、異なる係数で信号を表現するためにフレーム展開を利用し、係数群を交互射影法を用いて任意の非零係数で表現する。非零係数の個数と情報量の関係および非零係数の発生位置に着目し、それらを不確定性符号化に応用する。

2 不確定性符号化とキャッシュ交換

2.1 不確定性符号化の定義

本研究では、同一ビットレートかつ同一品質であるが構造の異なる複数のビットストリームを生成する符号化を不確定性符号化と呼ぶ。これまでの符号化方式では、同一ビットレートかつ同一品質のビットストリームは確定的に生成されるため、クライアントのキャッシュ間には違いが存在しない。これに対し、不確定性符号化では、各クライアントが異なる構造のビットストリームをキャッシュする可能性がある。したがって、キャッシュの違いを利用した画像品質が可能ならば、サーバに不要なリクエストを送る必要がない。

| Input signals | y_0 | y_1 | y_2 | y_3 |
|---------------|---------|---------|---------|---------|
| | (0) | (1) | (2) | (3) |
| Bitstream (A) | Ty_0 | Sy_1 | Ty_2 | Sy_3 |
| Bitstream (B) | Ty_0 | Ty_1 | Sy_2 | Sy_3 |
| | (0) | (1) | (2) | (3) |
| Client (A) | UTy_0 | USy_1 | UTy_2 | USy_3 |
| Client (B) | UTy_0 | UTy_1 | USy_2 | USy_3 |

Figure 1: An example of coefficients exchange.

2.2 キャッシュ交換による高画質化

図1にクライアント間キャッシュ交換による高画質化の仕組みを示す。まず入力信号 y を複数に区分する。図1では y_i ($\{i \in 0, 1, 2, 3\}$) の4つに区分している。信号の区分は、各ブロックがほぼ均等な情報量を持ち、同等に画質へ寄与すると仮定する。次に、符号化器が異なる変換 T と S を用いて各ブロックの信号を変換する。あるブロックについてどの変換を用いるかを確率的に決定する。各ブロックにおいて係数群を量子化した後エントロピー符号化することで、構造の異なるビットストリームが複数生成される。

クライアントでは、全てのブロックに共通の逆変換 U を用いて信号を再構成する。図1の例では、クライアントA, Bのブロック1および2において、それぞれ異なる信号が再構成されている。ここで元信号と再構成信号が、式(1)の関係にあるならば、クライアント間の係数交換により再構成信号の品質を向上させることが可能である。変換 S と T が逆の関係であっても同様である。

$$\frac{1}{2}E\|y_i - USy_i\|^2 > \frac{1}{2}E\|y_i - UTy_i\|^2 \quad (1)$$

ただし、 $i \in \mathbb{N}$

3 フレームと交互射影法

前章で述べた変換 T, S, U を, $n \times m (m > n)$ の行列 F とその一般逆行列を用いて表現する. ヒルベルト空間 \mathcal{H} における任意の関数 $f \in \mathcal{H}$ について式 (2) が成立するとき, 関数の族 $\{\phi_j\}_{j \in \mathcal{J}}$ はフレームをなすという [2].

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

ただし定数 A, B が $0 < A \leq B < \infty$ を満す. 入力信号はフレームを用いて $y = Fx$ と展開される. x はフレーム係数ベクトルであり, F の一般逆行列を用いれば $x = F^{-1}y$ と表される. したがって, 前章で述べた T, S が F^{-1} の一つであり, U が F に対応する. F の一般逆行列の一意的な表現は, 疑似逆行列 F^+ である. このように, フレームを用いることで図 1 に示した変換と逆変換の関係を一般的に表現することが可能である.

Mancera らは, フレーム係数ベクトルを交互射影法で求めている. 同手法は, 二乗ノルムを最小化する疑似逆行列を用いるよりも情報量の点で最適であるとしている [3]. 交互射影法を利用することで, 多くの零係数を含むフレーム係数を求めることができ, 近似信号として再構成される. 以下に, フレームとして Contourlet[4] を利用した場合の非零係数と情報量の関係および非零係数の発生位置との関係性について述べる.

3.1 非零係数の個数と情報量の関係

図 2 に, 交互射影法により求めたフレーム係数の情報量と再構成画像の PSNR を示す. 実験で用いた Contourlet は, 多重解像度解析および方向解析に 9/7-Daubechies フィルタを利用し, 情報量は各サブバンドのエントロピーを加算した値である. 図 2 より, フレーム係数の非零係数の総数が増加するにつれて再構成画像の PSNR が増加し, 同時に情報量が増えることが確認できる. したがって, 図 1 の変換係数 Sy と Ty を, 異なる非零係数の総数を指定して求めたフレーム係数とすれば, 異なる再構成画像の品質を示すことがわかる. すなわち, キャッシュ交換は, 各ブロックでより多くの非零係数を有するクライアントから係数群を受信し, 逆変換 U により再構成することで実現可能である.

3.2 非零係数の個数と発生位置の関係

交互射影法において任意の非零係数の総数を指定する場合に, 非零係数の発生位置の変化について述べる. 文献 [3] の交互射影法では, 指定した非零係数の総数を超えないように最大値からフレーム係数を選び出すことで凸集合から射影している. 射影で用いる閾値を Th とすると, 同じ条件で射影する限り非零係数の個数と閾値は同じ値を

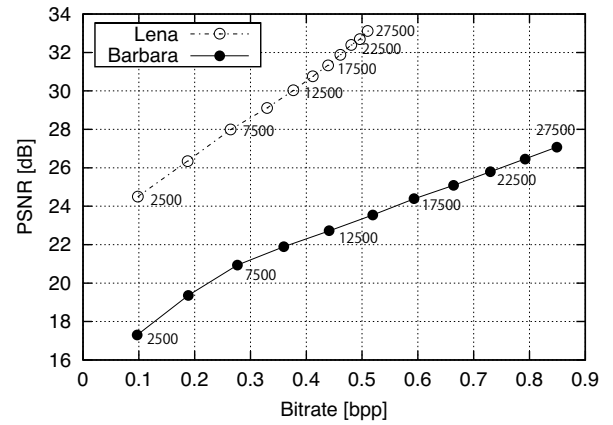


Figure 2: Rate-distortion curve.

Table 1: Multiple representation.

| | Nonzero | Diff. | PSNR[dB] | Rate[bpp] |
|-------|---------|-------|----------|-----------|
| Case1 | 20480 | 8581 | 32.06 | 0.48 |
| Case2 | 20480 | 8581 | 32.08 | 0.48 |

取る. これに対し, この閾値に変数 α を加えた $Th + \alpha$ に置き換え, 交互射影により複数のフレーム係数を求めた. $\alpha = \pm 2.0$ として異なるフレーム係数列を求めた結果を表 1 に示す. 表 1 の Nonzero は, 非零係数の総数, Diff. は, そのうち発生位置が異なる係数であり, 約 8500 個の非零係数が, 2 つの係数列において異なる位置に存在していることがわかる. したがって, 同一品質かつ同一ビットレートで異なるフレーム係数を有するビットストリームを交互射影法における閾値を制御することで生成可能であるといえる.

4 まとめ

本稿では, フレーム展開と交互射影法を不確定性符号化に応用した. キャッシュ交換の仕組みをフレーム展開で一般的に表現し, 交互射影法による非零係数の個数と情報量の関係によりキャッシュ交換の実現性を示した.

参考文献

- [1] 石川孝明, 渡辺裕, “画像の不確定性符号化について,” 画像符号化シンポジウム資料, vol.21, no.P-3.02, pp.77-78, Nov. 2006.
- [2] I. Daubechies, Ten Lectures On Wavelets, I. Daubechies, ed., Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.
- [3] L. Mancera, and J. Portilla, “L0-Norm Based Sparse Representation Through Alternate Projections,” IEEE ICIP 2006, pp.2089-2092, Oct 2006.
- [4] M.N. Do, and M. Vetterli, “The Contourlet Transform: An Efficient Directional Multiresolution Image Representation,” IEEE Trans. on Image Processing, vol.14, no.12, pp.2091-2106, Dec. 2005.

早稲田大学国際情報通信研究センター
〒 367-0035 埼玉県本庄市西富田 1011
Phone: 0495-24-6143, Fax: 0495-24-6645
E-mail: takaxp@fuji.waseda.jp