

方向性フィルタバンクによる動画像符号化方式に関する基礎検討 A Study on Video Coding with Directional Filter Banks

石川 孝明 渡辺 裕

Takaaki Ishikawa Hiroshi Watanabe

早稲田大学大学院 国際情報通信研究科

Graduate School of GITS, Waseda University

Abstract: According to Spatial Anisotropy of human vision system, the human brain is more sensitive to the contrast along vertical and horizontal direction than diagonal directions. We use Directional Filter Banks (DFB) to obtain such directional information from images. The DFB could divide the two-dimensional frequency into a number of sub-bands with directional information. We roughly quantize sub-band signals including diagonal directional information.

1 はじめに

画像のエッジや曲線に着目した変換方式として, Curvelet 変換 [1] や複素ウェーブレット変換 [2] が提案されている. これらの手法では, 変換と同時に画像から方向情報が取得され, ノイズ除去や画像処理に応用されている. 符号化の観点では, 変換により生じる冗長な係数をいかに効率的に符号化するかが課題とされる. また, 方向情報を取得するために, 離散ウェーブレット変換よりも複雑な処理を必要とする. Contourlet 変換 [3] は, 方向性フィルタバンクと離散ウェーブレット変換を組み合わせることで, 方向の種類は限定されるが, Curvelet 変換よりも少ない演算量で方向情報を取得することができる. また, Liu らは, 方向性フィルタバンクと離散ウェーブレット変換の組み合わせで得られるサブバンド信号に対してコンテキストモデリングを導入し, 低レートにおいて JPEG 2000 とほぼ同様かそれ以上の符号化効率を実現し, 復号画像の高いエッジ再現性を示している [4].

JPEG 2000 に代表される離散ウェーブレット変換を利用した画像符号化が高い符号化効率を実現した背景には, 空間周波数に対する視覚特性に応じた帯域分割を行い, 変換により得られるサブバンドごとに適切な量子化を行うことがあげられる. 一方, 視覚特性には画像の方向性に関する空間異方性が報告されている [5]. 方向性フィルタバンクにより画像をサブバンド分割することで, 方向情報が反映されたサブバンドを取得し, 空間異方性に応じた量子化を行うことで符号化効率の向上や主観品質の向上が行えると考えられる.

2 方向性フィルタバンク

方向性フィルタバンクは, Bamberg と Smith により提案されたフィルタバンクである [6]. 2次元非分離型のファンフィルタと Quincunx Matrix を組み合わせることで, 1次元信号において実現される完全再構成フィルタバ

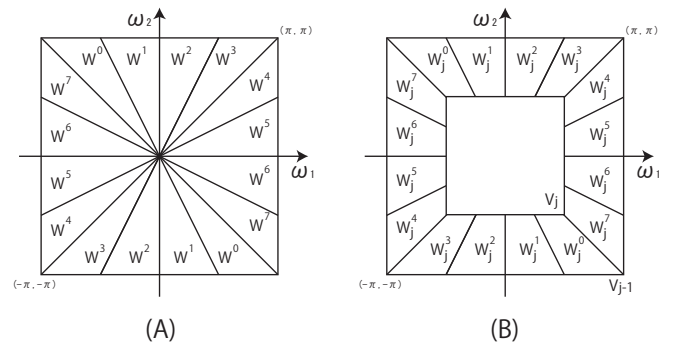


Figure 1: Frequency partition

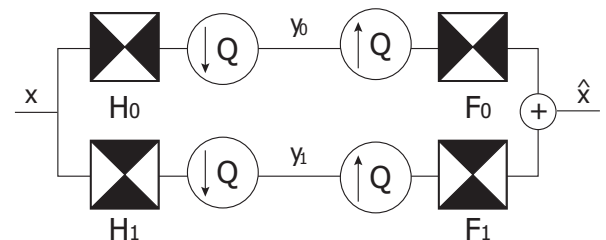


Figure 2: The Directional Filter Bank (2bands)

ンクと同様に, 画像をいくつかのサブバンドに分割することができる. 8方向に分割する場合は, 周波数領域上では図 1-(A) のように分割が行われ, 各サブバンドは式 (1) で表される.

$$W = \bigoplus_{l=0,1,\dots,7} W^l \quad (1)$$

分離型フィルタによる帯域分割と異なる点は, 図 1-(A) のようにくさび状に帯域分割を行えることである. これにより, 分割されたサブバンド信号には方向情報が含まれる.

ファンフィルタと Quincunx Matrix による帯域分割は, 図 2 の分割合成回路で構成される. これを多段接続すると, 帯域分割数が増加する. 図 1-(A) は, 3段接続する場合である. 図 2 において, H_0, H_1, F_0, F_1 を正しく設計することにより, 完全再構成フィルタバンクを実現可能であ

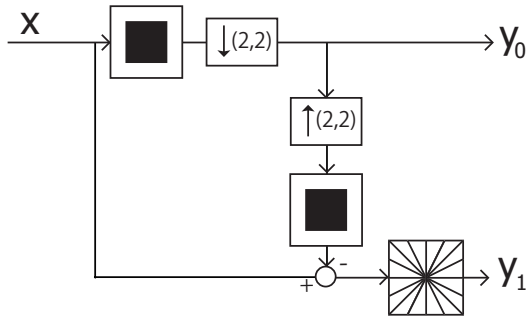


Figure 3: The analysis side of the PDFB[3]

る。また、最大間引きであるため、分割後のサブバンド係数の総和は入力信号の総和と一致し、非冗長である。

3 方向情報の利用

本方式では、方向性フィルタバンクと多重解像度解析の組み合わせにより得られるサブバンド信号に対し、空間異方性に基づく重み付け量子化を導入する。具体的な手順を以下に述べる。

3.1 多重解像度解析

入力画像を低周波数成分と高周波数成分に分離するために、図3の回路を利用する。方向性フィルタバンクには、低域成分と入力画像の差分信号が入力され、このとき入力信号に対して4/3の冗長な情報が生じる。出力信号 y_0 と y_1 は、図1-(B)に示すような帯域分割となる。出力信号 y_0 を繰り返し分割すればマルチスケール分割となり、Contourlet変換となる。低周波数成分と高周波数成分には、式(2)の関係が成り立つ。

$$V_{j-1} = V_j \oplus W_j \quad (2)$$

3.2 2次元ファンフィルタ

1次元のローパスフィルタ $H(z)$ およびハイパスフィルタ $G(z)$ をマクレラン変換を用いて2次元写像しファンフィルタを得る。マクレラン変換には式(3)を用いる。マクレラン変換では、インパルス応答の定義式を式(4)の右辺のようにチェビシェフ多項式 T_n で表現し、変数変換 $\cos\omega = F(\omega_1, \omega_2)$ により写像する。写像元の1次元フィルタは零位相、偶対称、偶数次のフィルタを用いる。

$$\cos\omega = F(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{2}(\cos\omega_1 - \cos\omega_2) \quad (3)$$

$$H(\omega_1, \omega_2) = h(0) + 2 \sum_{n=1}^N h_n T_n[\cos\omega] \quad (4)$$

$H(z)$ と $G(z)$ をそれぞれマクレラン変換して得られる2種類のファンフィルタを、図2の帯域制限部で利用する。 $H(z)$ と $G(z)$ に9/7-Daubechiesフィルタを利用すれば、双直交完全再構成フィルタバンクとなる。

3.3 空間異方性に基づく量子化

文献[5]によれば、視覚特性には、正弦波パターンが垂直から+45度および-45度に傾いたときに高周波特性が最も低下する性質がある。この性質は空間異方性と呼ばれる。ここで、方向性フィルタバンクにより得られるサブバンドを2つに分類する。1つは、水平および垂直方向の高周波成分に対応する $B_0 = \{W_j^1, W_j^2, W_j^5, W_j^6\}$ であり、1つは、斜め方向の高周波成分に対応する $B_1 = \{W_j^0, W_j^3, W_j^4, W_j^7\}$ である。 B_0 に対して B_1 を粗く量子化することで、空間異方性の視覚特性を反映したサブバンド信号の量子化を行うことができる。

4 おわりに

本稿では、方向性フィルタバンクにより画像を複数の方向情報を持つサブバンドに分割し、空間異方性に基づく量子化を行う手法について述べた。今後は、同手法の量子化による効果を確認し、動画像における主観品質を評価する。同方式では、シフト不変性が保証されていないため、動画像への拡張では視覚的ノイズが生じる可能性がある。また、フレーム間のサブバンド信号の相関を利用した符号化方式への応用も検討課題である。

参考文献

- [1] J.L. Starck, E.J. Candes, and D.L. Donoho, "The Curvelet Transform for Image Denoising," IEEE Trans. on Image Processing, vol.11, pp.670-684, 2002.
- [2] I.W. Selesnick, R.G. Baraniuk, and N.G. Kingsbury, "The Dual-Tree Complex Wavelet Transform," IEEE Signal Processing Magazine, vol.22, no.6, pp.123-151, Nov. 2005.
- [3] 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.
- [4] Y. Liu, T. Nguyen, and S. Orintara, "Low Bit-rate Image Coding Based on Pyramidal Directional Filter Banks," IEEE ICASSP, vol.2, pp.14-19, 2006.
- [5] 樋渡, 渡部, 森, 長田, "視覚の空間正弦波レスポンス," NHK技研, vol.16, no.1, pp.38-60, 1964.
- [6] R.H. Bamberger, and M.J. T.Smith, "A Filter Bank for the Directional Decomposition of Images: Theory and Design," IEEE Trans. on Sig. Proc., vol.40, no.4, pp.882-893, Apr. 1992.

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
Phone: 0495-24-6143, Fax: 0495-24-6645
E-mail: takaxp@fuji.waseda.jp