ウェーブレット変換と0-Tree構造による静止画像符号化におけるフィルタ特性の比較

Comparison of the Filter Performance in the Still Picture Encoding Using Wavelet Transform and 0-Tree Structure

田原 修[†], 青木 信悟[†], 角野 真一[†], 正会員 岡本 教佳[†]

Osamu Tahara[†], Shingo Aoki[†], Shin-ichi Kadono[†] and Noriyoshi Okamoto[†]

あらまし ウェーブレット変換で用いるフィルタには、変換を施しても劣化が生じない完全再構成がある。本論文は、完全再構成であるDaubechies, Smith&Barnwell, スプライン, 準正規直交, Coiflet, FBI, Haar, Daubechies Tree-Tapの計8個のフィルタを用意し、比較検討する。これらのフィルタを我々の提案する0-Tree構造とウェーブレット変換による符号化に適用して、比較した結果、若干ではあるがスプラインによる結果が最も良いことがわかった。

キーワード: ウェーブレット変換, 静止画像符号化, 0-Tree構造, フィルタ特性

1. ま え が き

現在、携帯電話やPHSといった携帯端末の普及により誰もが手軽にどこでも情報を手に入れることができる。さらに音声や文章だけでなく画像を扱う必要性が増大している。しかし、画像は他の情報に比べ非常に情報量が多いため、送受信に時間がかかるという問題が発生するため、これを解消するため効果的な符号化方式が必要である。静止画像の符号化で一般的に用いられるJPEG方式はブロックごとに符号化が行われるため、ブロックとブロックの境目にずれが起きるブロックノイズの問題が発生する。この問題を解決する手法として現在ウェーブレット変換^{1)~3)}を用いた符号化が注目を浴びている^{1)4)~9)}。

2. ウェーブレット変換に用いるフィルタの比較

ウェーブレット変換は、時間と周波数を同時にとらえることのできる時間周波数解析である。ウェーブレット変換はJPEG方式と異なり、サブバンド分割とオクターブ分割を組み合わせた重複変換のためブロックノイズを低減することが可能となる。ウェーブレット変換は大きく分けて、変換を施しても劣化が生じない完全再構成と近似式のため劣化が生じる非完全再構成がある。本論文は、完全再構成であるDaubechies(4Tap), Smith&Barnwell(8Tap), スプライン(9-3Tap), 準正規直交(5-7Tap), Coiflet(4Tap), FBI(9-7Tap), Haar(2Tap), Daubechies Tree-Tapの計8個のフ

ィルタを用意し、比較・検討する。これらのうち、Coiflet, FBIフィルタは、ウェーブレット変換を用いた符号化方式で最も広く一般的に用いられているフィルタである。Daubechies Tree-Tapは我々が考案したフィルタで、各階層ごとに16, 8, 4Tapの異なるTap数を用いてウェーブレット変換を行い、同一Tapの場合と比較する。

2.1 Daubechies Tree-Tap

Daubechies Tree-Tapは、階層ごとに上記3種類の異なるTap数によりウェーブレット変換を施す。通常、入力信号に対する畳込み範囲は階層ごとに異なるが、Tree-Tapはすべての階層で同じ畳込み範囲となる。この結果、帯域分割された信号成分に相関を持たすことが可能であると考えられる。つまり、同一Tapと比べTree-Tapの方が符号化効率を上げることが可能であると考えられる。

3. 符号化方式^{7)~9)}

本論文の符号化方式の流れを図1に示す。まず、ウェーブレット変換を3回繰り返し、3階層の計10個のサブバンド成分に分割する。帯域分割されたサブバンド成分のうち、最低周波成分であるL3LL成分に対してはDPCM符号化を使用する。次に、L3LL成分を除く9つのサブバンド成分に対して以下の処理を施す。初めに、0値付近の信号を0値に量子化する0値量子化を行う。0値量子化された信号を対象にTree構造を構成し、すべてのTree構成要素が0値であるものを0-Tree構造とする。ただし、Tree構造の親となるL3成分に判別符号を付加する必要がある。しかし、Modified Huffman符号化を用いることで冗長性が抑えられる。次に、0-Tree構造を構成しなかった信号にベクトル量子化を行うが、ベクトル量子化を施す前に0値に量

2001年10月2日受付, 2001年11月5日再受付, 2001年11月12日採録

[†] 関東学院大学 工学部 電気・電子工学科

(〒236-8501 横浜市金沢区六浦町4834, TEL 045-781-2001)

[†] College of Engineering, Kanto Gakuin University

(4834, Mutsuura-cho, Kanazawa-ku, Yokohama, 236-8501, Japan)

子化されたが0-Tree構造を構成しなかった信号を0値量子化前の信号に戻す再帰0値を行う。この結果、0値量子化による量子化誤差の伝搬を抑える。再帰0値後、L3成分とL2成分およびL2成分とL1成分の2階層からなる5次元ベクトルを形成し、ベクトル量子化を行う。以下、再帰0値とベクトル量子化について述べる。

3.1 再帰0値

0-Tree構造を構成しなかった0値信号を走査してみたところ、0値量子化された信号がエッジ部分に対応する高周波領域に多く分布している。そこで、この信号に対して0値量子化前の信号に戻す再帰0値を行う。再帰0値を行うことにより、0値量子化における量子化誤差を伝搬させず

図1 符号化方式の流れ
Block diagram of the encoding scheme.

(a) 原画像 (b) 復元画像
図2 標準画像Hotelの復元結果
Reconstructed image of standard image "Hotel".

にベクトル量子化を行うことが可能となる。つまり、ベクトル量子化の際に起きる劣化を抑えつつ、情報量の削減をすることができる。

3.2 ベクトル量子化

0-Tree構造⁴⁾⁸⁾以外のすべての信号（前述の再帰0値を含む）に対する符号化は以下のベクトル量子化を用いて行う。このときのベクトルは2階層にまたがる5次元ベクトルで形成される⁸⁾。

(1) 単純クラスタリング

単純クラスタリングでは、予め代表ベクトル間の距離 T を決めておく。それをもとに注目ベクトルと代表ベクトルの距離 D を求め、 T と D が次のどちらの関係であるかを調べる。

$$T \geq D \quad (\text{代表ベクトルに属する}) \quad (1)$$

$$T < D \quad (\text{新しい代表ベクトルとなる}) \quad (2)$$

これを対象となる要素すべてに対して行い、代表ベクトルを形成する。

(2) LBGアルゴリズム

LBGアルゴリズムは、任意に選んだ代表ベクトルに対して各代表ベクトルに属しているベクトルの平均値を求め、それを新しい代表ベクトルとして置き換える。すべての新代表ベクトルと前代表ベクトルの差がなくなるまで処理を繰り返す。この結果、代表ベクトルと代表ベクトルに属するベクトルの量子化誤差の偏りが小さくなるため、単純クラスタリングよりも画質の向上が期待される。ただし、本論文では、初期の代表ベクトルとして単純クラスタリングにより得られた結果を用いる。

4. シミュレーション結果

図1の符号化手順に従い、符号化を行う。ただし、DPCM符号化は8bit、0値量子化幅を一定の9として符号化を行い、代表ベクトル間距離を3～10と変化させる。本論文で使用する画像の拡大図を図2(a)、図3(a)に示す。これらの画像はHotelとLenaである。また、スプラインフィルタを用いた復元画像の拡大図を図2(b)、図3(b)に示す。

(a) 原画像 (b) 復元画像

図3 標準画像Lenaの復元結果
Reconstructed image of standard image "Lena".

◆ Smith & Barnwell ■ Daubechies ▲ スプライン
 × 準正規直交 * Coiflet ● FBI
 + Haar — Tree-Tap

図 4 符号化実験結果[Hotel]
Experimental results of the encoding scheme[Hotel].

◆ Smith & Barnwell ■ Daubechies ▲ スプライン
 × 準正規直交 * Coiflet ● FBI
 + Haar — Tree-Tap

図 5 符号化実験結果[Lena]
Experimental results of the encoding scheme[Lena].

5. 考察とまとめ

シミュレーションの結果、Hotelの場合は図4に示されるように画質優先ではスプラインがよく、圧縮率優先ではTree-Tapのフィルタがよかった。Lenaの場合は図5に示されるように、画質優先ではHotelと同様にスプラインがよく、圧縮率優先ではFBIのフィルタがよくなりHotelの結果と異なった。この結果、圧縮率優先では異なる結果となってしまったが、画質優先とした場合は共にスプラインフィルタが一般的に使われているFBIフィルタよりも符号化効率がよくなった。また、両画像共に同一Tap数のDaubechiesフィルタよりもDaubechies Tree-Tapのフィルタを用いた方が良い結果を得ることができた。これにより、ウェーブレット変換する際に用いるフィルタを階層ごとに適切と考えられるフィルタを用いることで符号化効率を上げることが可能であると考えられる。

今後は、使用画像を増やして実験を行うことおよび、カラー画像に対しても適用可能であるかを検討すること等が考えられる。

本研究の遂行に当たりご指導いただいた、関東学院大学元教授（工学院大学名誉教授）南敏先生に感謝いたします。

【文 献】

- 1) 貴家仁志：“よくわかるデジタル画像処理”，CQ出版社(1996)
- 2) R.M.Rao, A.S.Bopardikar：“Wavelet Transforms”，Addison-Wesley(1998)
- 3) Stephane Mallat：“A Wavelet Tour of Signal Processing”，Academic Press(1999)
- 4) J.M.Shapiro：“Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients”，IEEE Trans. Signal Processing, **41**, 12, pp.3445-3462(1993)
- 5) Smith M.J.T and Barnwell T.P. III：“Extract Reconstruction Techniques for Tree-Structured Subband Coders”，IEEE Trans. ASSP, **34**, 3, pp.434-441(1996)
- 6) 木本伊彦：“1-6 画像符号化(1) 静止画像”，画電学誌, **29**, 6, pp.652-660(2000)
- 7) O.Tahara, T.Fukutomi, N.Okamoto, T.Minami: “Encoding of Still Pictures by a Wavelet Transform and Singular Value Decomposition”，IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp.18-24(1999)
- 8) O.Tahara, N.Okamoto, T.Minami: “Encoding of Still pictures by the 5-Dimensional Vector Quantization and 0-Tree Implementation”，IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp.895-901(2000)
- 9) 角野，田原，岡本：“階層の相関に基づく0-Treeとベクトル量子化による画像符号化”，信学総大, D-11-20, (2001)

たはら おさむ
田原 修 1977 年生. 1999 年 関東学院大学工
学部電気・電子工学科卒業. 2001 年 同大学院博士前期
課程了. 同年, キヤノテック(株)に入社. 在学中は画像
符号化および画像処理に関する研究に従事.

あおき しんじ
青木 信悟 1978 年生. 2001 年 関東学院大学工
学部電気・電子工学科卒業. 現在, 同大学院博士前期課程
在学中. 画像符号化および画像処理に関する研究に従事.

かどの しんいち
角野 真一 1977 年生. 2000 年 関東学院大学工
学部電気・電子工学科卒業. 現在, 同大学院博士前期課
程在学中. 画像符号化および画像データベースに関する
研究に従事.

おかもと のりよし
岡本 教佳 1957 年生. 1980 年 工学院大学工学
部電子工学科卒業. 1985 年同大学大学院博士課程了. 同
年関東学院大学工学部電気工学科講師. 現在, 同電気・
電子工学科教授. 工学博士. 主として 画像認識や画像符
号化に関する研究に従事. 正会員.