

折り畳み処理による拡大画像のブロック歪みの改善

小林 香苗・原田 亨*・澤見 英男**

川崎医療短期大学一般教養

*三菱電機コントロールソフトウェア株式会社

**岡山理科大学総合情報学部数理情報学科

(2000年11月1日 受理)

画像の代表的な変換符号化法である DCT 法を用いると、逆変換の処理と併せて解像度変換を行えば処理時間の増大を防ぐことができる。しかし、DCT 法を用いて高圧縮率でデータ圧縮を行い解像度を変更する場合、ブロック歪みによる画質の劣化は避けられない。そこで本論文では、データ圧縮と併せて解像度変換を用いる場合、OBDCT 法がブロック歪みの低減に有効であることを理論的に示す。まず、DCT 法と OBDCT 法に関し、ブロック境界で生じる歪みの大きさの計算方法を提案する。その結果、OBDCT 法のブロック境界で生じる歪みは拡大率とは無関係に常に DCT 法の 35.2% 程度に押さえられることが分かった。そして、実際の拡大画像を用いた比較では、OBDCT 法は圧縮率を上げてもブロック歪みが生じないため高画質な画像が再生でき、実用上 DCT 法より優れていることが結論づけられる。

はじめに

コンピュータディスプレイは近年、高解像度画像が表示できる高性能なものが一般的になってきた。これに伴い、使用するディスプレイの解像度に合わせて画像の解像度を変更して表示しても画質の劣化しない高画質な画像の得られる符号化法に対する要求が高まっている。ところで、ディスプレイの解像度に合わせて画像の解像度変換を手軽に行う場合は、一般に適用が簡単な補間が用いられることが多い。しかし、この方法ではエリアシングによる画質の劣化という問題が生じる。そこで反復法を用いた方法 [4] によりエリアシングを改善したり、拡大画像の未知の高周波成分を推定する方法 [7],[11] により、より高画質な再生画像を生成する方法が提案されている。しかし、これらの方法では再生画像を得るまでかなりの処理時間を必要とする。ところで、DCT (discrete cosine transform) 基底 [1] や LOT (lapped orthogonal transform) 基底 [2] 等の直交変換基底を採用した変換符号化法を用いるならば、逆変換を適用する際に同時に画像の解像度も変更することができるため、反復法や推定法による画像の解像度変換に比べて処理時間の増大をかなり押さえることができる。画像の国際標準符号化方式である JPEG (joint photographic experts group) や MPEG (motion picture experts group) では変換符号化法に DCT 法が用いられている。DCT 法は高速算法が容易に導出できることやその構造が単純であることに加え、データ圧縮を行っても比較的高画質な再生画像が生成されることで高く評価されている。しかし、DCT 法では隣接ブロックと重複せずにブロック化を行い、各ブロックごとに画像のデータ圧縮を行うため、データの圧縮率を上げるにつれブロック歪みを主原因とした画質の劣化が生じる。つまり、従来法の DCT 法を用いて画像の拡大を行う場合は高い圧縮率でデータ圧縮を行うと、ある程度以上の画質は望めなくなる。また、拡大比が大きくなればなるほど歪みも大きくなり画質の劣化が目立つ。このため、特に画質の劣化が目立つ拡大再生画像の画質について考察する必要がある。これに対し、処理時間の増大しない方法で拡大画像の画質を改善する方法が幾つか報告されている [5],[8]~[10]。本論文で用いる OBDCT (overlapping block DCT) 法は、窓関数による重み付けと折り畳み処理を用いた前処理付き DCT 法として位置づけられる [6]。この方法によれば全体の処理時間の増大を防ぐことができる。また、前処理により DCT 法で生じるブロック歪みを改善できれば視覚的に再生画像の画質の低下を検知しにくくなるので、実用上有効な手法になるものと考えられる。

本論文では、DCT法とOBDCT法のブロック境界で生じる歪みの大きさの計算方法を提案している。これによりOBDCT法ではブロック歪みが改善されていることを理論的に明らかにした。また、計算機実験により、DCT法とOBDCT法の2つの変換符号化法を用いて実際の画像を符号化し、解像度変換により拡大して画質の比較を行った。その結果、実用上でもOBDCT法の方が優れていることを示す。

1 解像度変換における変換符号化法

1.1 OBDCT符号化法

標本数 N の1次元OBDCTと標本数 M の1次元IOBDCT(inverse OBDCT)は次式で表される。2次元OBDCTは行方向と列方向に1次元OBDCTを1回ずつ適用することで実現する。ただし、1次元OBDCTの式(1)中の $\bar{y}(n)$ は画像データ $y(n)$ に窓関数 $w(n)$ を適用した後、さらに後で述べられるような折り畳み処理を施して得た長さ N のデータ列である。また、逆変換の処理でも同様に、1次元IOBDCTにより得た $\bar{y}(m)$ を展開してから逆窓関数 $W(m)$ を適用し、隣接ブロック間で加算を行うことで拡大再生画像を得る。これらOBDCTとIOBDCTで用いる窓関数 $w(n)$ と逆窓関数 $W(m)$ 、及び折り畳み処理と逆折り畳み処理については次節で述べる。

$$x(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=0}^{N-1} c(n) \bar{y}(n) \cos \frac{(2k+1)n\pi}{2N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$\bar{y}(m) = \sqrt{\frac{M}{N}} \sqrt{\frac{2}{M}} c(m) \sum_{l=0}^{M'-1} x(l) \cos \frac{(2l+1)m\pi}{2M}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, M-1 \quad (2)$$

$$M' = \min(M, N), \quad c(m) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{2}} & \text{for } m = 0 \\ 1 & \text{for otherwise} \end{cases}$$

1.2 重み付けと折り畳みによる前処理

OBDCT法で用いる窓関数による重み付けと折り畳みを使用した前処理について説明する。

OBDCT法では隣接ブロックと $\frac{N}{2}$ 画素重複して $2N$ の長さでブロック化し、各ブロック画像のデータ列 $y(n)$, $n = 0, 1, \dots, 2N-1$ に長さ $2N$ の窓関数 $w(n)$, $n = 0, 1, \dots, 2N-1$ を適用して $f(n)$ とする(次式)。次に点 $n = \frac{N}{2}$, $\frac{3N}{2}$ において、それぞれ偶および奇対称になるよう内側へ折り畳む。折り畳まれた長さ N のデータ列を次式のように $\bar{y}(n)$ とし、式(1)のOBDCTに対する入力データとして用いる。この窓関数 $w(n)$ による重み付けと折り畳みがDCT法に対する前処理であり、これらの前処理を折り畳み処理と呼ぶことにする。

- 折り畳み処理

$$f(n) = w(n)y(n), \quad n = 0, 1, \dots, 2N-1 \quad (3)$$

$$\bar{y}(n) = \begin{cases} f(n) + f(N-n-1), & n = \frac{N}{2}, \dots, N-1 \\ f(n) - f(3N-n-1), & n = N, \dots, \frac{3N}{2}-1 \end{cases} \quad (4)$$

また、逆折り畳み処理は折り畳み処理の手順を逆に辿ることにより行う。次式は点 $m = \frac{M}{2}$, $\frac{3M}{2}$ における逆折り畳み(展開処理)で得られた長さ $2M$ のデータを $f(m)$ で表し、 $f(m)$ に対する逆窓処理で得られたデータを $y(m)$ で表している。この $y(m)$ を隣接ブロック間で加算したものがOBDCT法における再生データとなる。

- 逆折り返し処理

$$f(m) = \begin{cases} \bar{y}(M - m - 1) + \bar{y}(m), & m = \frac{M}{2}, \dots, M - 1 \\ \bar{y}(3M - m - 1) - \bar{y}(m), & m = M, \dots, \frac{3M}{2} - 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$y(m) = W(m)f(m), \quad m = 0, 1, \dots, 2M - 1 \quad (6)$$

これらの処理に適合する窓関数として $w(n) = \sin \frac{n\pi}{2N}$ が提案されている [3][6]. 本論文では, これを窓関数 $w(n)$ に採用した OBDCT 法を用いて解像度変換を行った場合の特性について述べる.

2 ブロック境界における歪みの評価

DCT 法では, 隣接画素と重複しないようブロック化を行い, 各ブロックごとの変換係数に対して独立に量子化を行うため, 量子化の際に変換係数で生じた歪みがブロック歪みの原因となっている. 我々は, 直流成分に関する量子化誤差がブロック歪みの主な原因であると仮定し, 簡単のために $N=M$ として解像度変換を行わない場合の DCT 法と OBDCT 法のブロック境界における歪み誤差の大きさをそれぞれ導出する.

DCT 法と OBDCT 法では, それぞれの直流成分に関する量子化誤差によりブロック歪みが生じると仮定しているため, ブロック歪みが生じていない場合の画素値を基準画素値として定義し, 量子化誤差を含んだ直流成分の再生信号の値と基準画素値との 2 乗誤差の合計を求め, これをブロック歪みの大きさとして評価する.

DCT 法では, 直流成分に生じた量子化誤差が IDCT により各ブロック内へ均一に分配される. すなわち, 量子化の際に左側のブロックの再生信号で生じる量子化誤差の平均値を μ_L , 右側のブロックでは μ_R とすると, ブロック境界では大きさ $\mu_R - \mu_L$ の不連続なブロック歪みが生じる. なお, 左側のブロックの区間は $0 \leq n < N$, 右側の区間は $N \leq n < 2N$ とすると, ブロック境界は $n = N$ である. 一方, 自然画像における画素値は一般に各ブロックや境界を通して滑らかに変化する場合が多いと考えられるので, 誤差により生じる歪みもそのようにブロック境界で滑らかに変化する性質を有している場合の歪みは視覚的に目立たないと考えられる. そこで, ブロック歪みが生じていない場合の画素値はブロック境界で不連続にならず一次関数的に変化していると仮定する. そして, DCT における 2 つの隣接ブロックにおける誤差 μ_L, μ_R を滑らかにつなぐ次の直線 $f(n)$ を, ブロック歪みが生じていない場合の画素値と考え, これを DCT 法における基準関数とする.

$$f(n) = \frac{\mu_R - \mu_L}{N}n + \frac{3\mu_L - \mu_R}{2} \quad (7)$$

DCT のブロック境界では, $f(n)$ と各ブロックでの再生信号に含まれる量子化誤差 μ_L, μ_R との差の 2 乗がブロック歪みの大きさとして定義できる.

次に, OBDCT のブロック歪みの大きさを DCT と同じエネルギーを有する量子化誤差で評価する. すなわち, DCT のブロック誤差 μ_L, μ_R に窓関数 $w(n)$ と IOBDCT の基底 $B(n)$ を適用した次のような ν_L, ν_R を OBDCT の左右のブロックの再生信号に含まれる量子化誤差とする.

$$\begin{cases} \nu_L = \mu_L w_L(n) B_L(n) \\ = \mu_L \sin \frac{(n + \frac{3N}{2})\pi}{2N} \cos \frac{n\pi}{2N} \\ \nu_R = \mu_R w_R(n) B_R(n) \\ = \mu_R \sin \frac{(n - \frac{N}{2})\pi}{2N} \sin \frac{n\pi}{2N} \end{cases} \quad (8)$$

ここで, OBDCT に対する基準関数は, DCT の基準関数 $f(n)$ と同じ傾きを持つ一次関数であると

すると、次のような関数が考えられる。

$$\bar{f}(n) = \frac{\mu_R - \mu_L}{N}n + t \quad (9)$$

定数 t は、ブロック境界周辺 $\frac{N}{2} \leq n < \frac{3N}{2}$ においてOBDCTの左右のブロックの量子化誤差 ν_L , ν_R と $\bar{f}(n)$ の差の二乗積分 $F(n)$ を最小にするような $\bar{f}(n)$ を計算することで求めることができる。すなわち、

$$F(n) = \int_{\frac{N}{2}}^{\frac{3N}{2}} \{(\nu_L + \nu_R) - \bar{f}(n)\}^2 dn \quad (10)$$

を求め、 t による最小化 $\frac{dF(n)}{dt} = 0$ を行うと、

$$t = \frac{\mu_R - \mu_L}{\pi} + \frac{3\mu_L - \mu_R}{2} \quad (11)$$

となる。この t の値を用いた次の $\bar{f}(n)$ をOBDCTにおける基準関数とする。

$$\bar{f}(n) = \frac{\mu_R - \mu_L}{N}n + \frac{\mu_R - \mu_L}{\pi} + \frac{3\mu_L - \mu_R}{2} \quad (12)$$

OBDCTにおいて逆折り畳みを考慮した再生画像に含まれる量子化誤差を式(1)より導出すると、次式の $\bar{y}(n)$ になる。ただし、 $B(n)$ はIOBDCTの基底を表す。

$$\begin{aligned} \bar{y}(n) &= \mu_L w(n)B(n) + \mu_R w(N-n)B(N-n) \\ &= \sqrt{2}\mu_L \sin \frac{(n + \frac{N}{2})\pi}{2N} \cos \frac{n\pi}{2N} + \sqrt{2}\mu_R \sin \frac{(n - \frac{N}{2})\pi}{2N} \sin \frac{n\pi}{2N} \end{aligned} \quad (13)$$

これより、OBDCTでのブロック歪みは、基準関数 $\bar{f}(n)$ と $\bar{y}(n)$ との差の二乗積分により定義することができる。

以上より直流成分の量子化誤差に起因するDCT法、及びOBDCT法のブロック歪みの大きさを得ることができる。この歪みをそれぞれ e^{DCT} 、 e^{OBDCT} とすると、これはブロック境界周辺 $\frac{N}{2} \leq n < \frac{3N}{2}$ における次のような積分で表すことができる。

$$\begin{aligned} e^{\text{DCT}} &= \int_{\frac{N}{2}}^N (\mu_L - f(n))^2 dn + \int_N^{\frac{3N}{2}} (f(n) - \mu_R)^2 dn \\ &= \int_{\frac{N}{2}}^N \left\{ \frac{(\mu_L - \mu_R)^2}{N^2} n^2 - \frac{(\mu_L - \mu_R)^2}{N} n + \frac{(\mu_L - \mu_R)^2}{4} \right\} dn \\ &\quad + \int_N^{\frac{3N}{2}} \left\{ \frac{(\mu_L - \mu_R)^2}{N^2} n^2 - \frac{3(\mu_L - \mu_R)^2}{N} n + \frac{9(\mu_L - \mu_R)^2}{4} \right\} dn \\ &= \frac{N}{12} (\mu_L - \mu_R)^2 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} e^{\text{OBDCT}} &= \int_{\frac{N}{2}}^N (\bar{y}(n) - \bar{f}(n))^2 dn + \int_N^{\frac{3N}{2}} (\bar{f}(n) - \bar{y}(n))^2 dn \\ &= \int_{\frac{N}{2}}^N \left\{ \frac{\sqrt{2}(\mu_L - \mu_R)}{4} \left(\sin \frac{n\pi}{N} + \cos \frac{n\pi}{N} + 1 \right) + \frac{\sqrt{2}\mu_R}{2} - \frac{\mu_R - \mu_L}{N} n - \frac{\mu_R - \mu_L}{\pi} - \frac{3\mu_L - \mu_R}{2} \right\}^2 dn \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
 &+ \int_N^{\frac{3N}{2}} \left\{ \frac{\mu_R - \mu_L}{N} n + \frac{\mu_R - \mu_L}{\pi} + \frac{3\mu_L - \mu_R}{2} - \frac{\sqrt{2}(\mu_L - \mu_R)}{4} \left(\sin \frac{n\pi}{N} - \cos \frac{n\pi}{N} + 1 \right) - \frac{\sqrt{2}\mu_R}{2} \right\}^2 dn \\
 &= N \left(\frac{1}{3} - \frac{3}{\pi^2} \right) (\mu_L - \mu_R)^2
 \end{aligned}$$

この結果より、DCT法とOBDCT法で生じる歪みの比 $\frac{e^{OBDCT}}{e^{DCT}}$ を計算すると、

$$\frac{e^{OBDCT}}{e^{DCT}} = \frac{\frac{N}{12} (\mu_L - \mu_R)^2}{N \left(\frac{1}{3} - \frac{3}{\pi^2} \right) (\mu_L - \mu_R)^2} = 4 - \frac{36}{\pi^2} \approx 0.35243739$$

となり、OBDCT法のブロック境界における歪みの大きさは、DCT法におけるブロック歪み $\mu_L - \mu_R$ の値やブロックサイズ N の大きさとは無関係になり、常にOBDCT法がDCT法の35.2%程度の歪みに押えられているということが分かる。これは、OBDCT法の方がDCT法と比較してブロック境界で値が滑らかに変化する画像を再生することを意味している。そのため、OBDCT法をデータ圧縮と併せて解像度変換に適用するならば、視覚的に優れた画像を再生できる可能性がある。以下では、DCT法とOBDCT法を用いて実際の画像を拡大した場合の画質を比較する。

3 計算機実験

標準画像 Barbara の中央部 256×256 を切りとり、これを原画像とした (図1)。この原画像に対してDCT法とOBDCT法を用い、量子化によるデータ圧縮を行わないで8倍に拡大した場合の再生画像の一部 (図1の四角部分により比較) を図2, 3にそれぞれ示す。



図1 原画像 Barbara
(四角部分により比較)



図2 DCT法, 8倍に拡大
(データ圧縮なし)

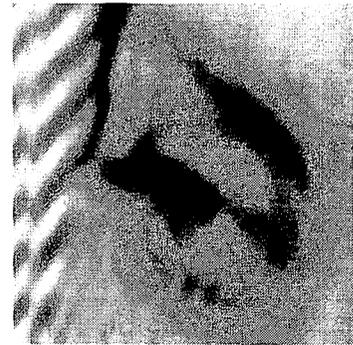


図3 OBDCT法, 8倍に拡大
(データ圧縮なし)



図4 DCT法, 8倍に拡大 (rate=0.5)



図5 OBDCT法, 8倍に拡大 (rate=0.5)

図2, 3より, DCT法では原画像には存在しなかったブロック歪みが生じ, これが画質劣化の主な原因として捕えられている. これに対してOBDCT法では, ブロック歪みが全く生じないため, 原画像の特徴を保ったまま拡大画像を再生できることが分かる. 次に, $\frac{1}{16}$ にデータ圧縮を行いrate=0.5 bits/pixelとし, DCT法とOBDCT法を用いて8倍に拡大した再生画像の一部を図4, 5にそれぞれ示す.

これらの図より, DCT法を用いてデータ圧縮を行うとブロック歪みがより目立つことが分かる. これに対してOBDCT法では, データ圧縮を行っても元の画像の特徴を保持したまま再生画像が得られ, 画質の劣化はあまり目立たないことが分かる.

以上より, OBDCT法を用いればデータ圧縮率の高い場合や解像度変換の拡大率が大きい場合でも, 比較的高画質な再生画像が得られるということが分かる. このOBDCTの特性は注目に値するものであり, 実用上重要な点であると思われる.

4 結論

従来から標準的に用いられているDCT法に比べ, 我々の提案したOBDCT法をデータ圧縮と併せて解像度変換に用いるならば, 視覚的に拡大の際の画質の劣化はあまり見られない. さらに, 従来のDCT法と比較して, 拡大率に無関係にほぼ一定の画質が得られるという特徴が明らかになった. これらのことから符号化と併せて画像の解像度変換に用いる場合, OBDCT法はDCT法より有効な変換符号化法であると結論づけられる.

- [1] N.Armed, T.Natarajan, and K.R.Rao., Discrete cosine transform, IEEE Trans. Comput., C-25, 1, pp.90-93, Jan. 1974.
- [2] H.S.Malvar and D.H.Staelin., The LOT: Transform coding without blocking effects, IEEE Trans. Acoust., Speech & Signal Process., 37, 4, pp.553-559, Apr. 1989.
- [3] H.Sawami, Y.Morikawa, and H.Hamada., Overlapping Block Discrete Cosine Transform Coding and Its Fast Algorithm, Electronics and Communications in Japan, Part 1, Vol. 75, No.4, pp.59-73, May. 1992.
- [4] 新堀英二, 高木幹雄., DCTを用いたGerchberg-Papoulisの反復法を適用した高画質画像拡大, 信学論(D-II), Vol. J76-D-II, No.9, pp.1932-1940, Sep. 1993.
- [5] S.Mruetusatorn, H.Kinoshita, and Y.Sakai., Resolution Conversion Method with High Image Quality Preservation, IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E77-D, No.6, pp.686-693, Jun. 1994.
- [6] 谷口香苗, 澤見英男., カラー静止画像の解像度変換について, 岡山理科大学紀要, 第29号A, pp.9-20; Mar. 1994.
- [7] 田中章, 今井英幸, 宮腰政明, 伊達惇., 多重解像度解析を用いたデジタル画像の拡大, 信学論(D-II), Vol. J79-D-II, No.5, pp.819-825, May 1996.
- [8] 木本伊彦, 藤井俊彰, 谷本正幸., ブロック間不連続の補償を含めたスペクトル変換によるデジタル濃淡画像の拡大, 信学論(D-II), Vol. J80-D-II, No.10, pp.2744-2751, Oct. 1997.
- [9] V.E.DeBrunner, Lixiang Chen, and Hong-Jian Li., Lapped Multiple Bases Algorithms for Still Image Compression Without Blocking Effect, IEEE Trans. Image Processing, Vol. 6, No.9, pp.1316-1321, Sep. 1997.

- [10] Y.L.Lee, H.C.Kim, and H.W.Park., Blocking Effect Reduction of JPEG Images by Signal Adaptive Filtering, IEEE Trans. Image Processing, Vol. 7, No.2, pp.229-234, Feb. 1998.
- [11] 高橋靖正, 田口亮., ラプラシアンピラミッド階層表現に基づくデジタル画像の一拡大法, 信学論 (A), Vol. J82-A, No.11, pp.1731-1740, Nov. 1999.

Improvement of Blocking Effect on Extension Image by using the Folding Process

Kanae T.KOBAYASHI, Tohru HARADA*, and Hideo SAWAMI**

Department of General Education, Kawasaki College of Allied Health Professions

Kurashiki-shi, 701-0194 Japan

*Mitsubishi Electric Control Software Corporation

Osaka-shi, 553-0003 Japan

**Department of Mathematical Information Science, Faculty of Informatics, Okayama University of Science

Okayama 700-0005 Japan

(Received November 1, 2000)

The DCT method is well known as a transform coding method. When resolution conversion with data compression by the DCT method is applied, it can not avoid degradation of image quality because blocking effect occurs. In this paper, it is shown that the OBDCT method is effective when applying resolution conversion with data compression. The amount of distortion on block boundaries of the DCT method and the OBDCT method are introduced. It was clear that the distortion on the block boundary of the OBDCT method is reduced to ordinarily 35.2% of the DCT method independently with extension ratio. Extended images obtained from resolution conversion are compared. The OBDCT method shows good performance to reconstruct high quality image because blocking effect does not occur with higher compression ratio. It is concluded that the OBDCT method associated with resolution conversion is useful and effective than the DCT method.