

ウェーブレットを用いた3次元医用画像圧縮に関する一検討

A Note On 3-D Medical Image Compression Using Wavelets

柴田 知弥†
Tomoya SHIBATA市毛 弘一†
Koichi ICHIGE

1 はじめに

3次元デジタル画像の可視化に関する研究が盛んであり、特に医療においては、MRIやマルチスライスCT(MSCT)などの3次元情報をVR可視化した画像が診断に用いられている[1],[2]。一般に3次元デジタル画像は情報量が膨大であり、データ圧縮が必須である。医用画像データの圧縮形式であるDICOM[3]では、離散コサイン変換(DCT)に基づいたJPEG系のフォーマットを利用する機会が多い。DICOMでは離散ウェーブレット変換(DWT)[4]に基づいたJPEG2000系のフォーマットもサポートされており、JPEGとJPEG2000の性能差を考慮すると、JPEG2000系のフォーマットおよび医用画像圧縮に特化した周辺技術の整備が望まれる。

DWTに基づいた既存の3次元医用画像圧縮技術では、1次元DWTを x, y, z 軸の3方向にそれぞれ適用して、低周波情報のみを保存することで3次元画像データを圧縮している[5],[6]。しかしながら、各方向のDWT分割数は同じであり、画素間の相関が各方向で異なるという3次元医用画像の特徴がデータ圧縮に活かされていない。

本稿では、3次元医用画像における画素相関の異方性を考慮して、方向別に異なる回数のDWTを適用することでデータ圧縮の効率化を目指す。DWTを行う方向、回数と画質との関係や、3次元画像を構成するスライス間隔と画質との関係について検討する。

2 DWTによる3次元画像圧縮

1次元信号のDWTは、分解および再構成のためのローパス/ハイパスフィルタ、アップサンプラ、ダウンサンプラを用いたフィルタバンク構成により実現される[4]。一般に画像は低周波情報を多く含むことから、複数回のDWTでは低周波情報のみを分割するオクターブ分割が効果的である。例として N 点の離散信号を考えると、1回のDWTで $N/2$ 点ずつの低周波(L)および高周波情報(H)に分割され、この低周波情報のみを2回目のDWTでさらに分割し、 $N/4$ 点ずつの低-低周波情報(LL)および低-高周波情報(LH)に変換される。

3次元画像データのDWTでは、 x, y, z 軸それぞれの方向にオクターブ分割フィルタバンクを用いて1次元DWTを複数回行い、最も低い周波数情報のみを保存することで3次元画像データを圧縮する[5],[6]。変換に用いる基本ウェーブレットは、Daubechies 9/7やDB4, Le Gall 5/3の場合に良い結果が得られている。ここで、文献[5],[6]では各方向のDWT回数が同じであり、3次

元医用画像における方向別の画素相関の違いが考慮されていない。画素相関の異方性を考慮し、各方向に異なる回数のDWTを適用することでより効率的なデータ圧縮が可能になるものと考えられる。

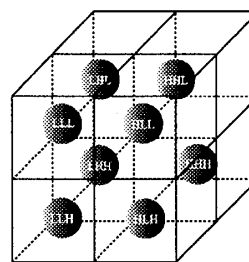


図1 3次元DWTによる帯域分割の例(各方向2分割の場合、LLL成分のみを保存)。

3 画素相関の異方性を考慮したDWTによる3次元画像圧縮

MRIやMSCTに代表される3次元医用画像データは、 x, y 軸方向(スライス平面内)の画素間隔に比べて z 軸方向の画素間隔(スライス間隔)が一般的に長く、また z 軸方向の変化が比較的少ないという特徴がある。したがって、 z 軸方向の画素相関は x, y 軸方向の画素相関に比べて低い傾向にある[6]。

これより、DWTによる3次元医用画像圧縮では、 z 軸方向のDWT回数を x, y 軸方向のDWT回数よりも多く設定し、保存するデータ量を削減することが可能であると考えられる。

4 シミュレーション

DWTによる圧縮画像 $f_c(x, y, z)$ の評価には、以下のRMSEとEPSNR(Equivalent PSNR)を用いる[6]。ただし $f(x, y, z)$ は原画像の輝度値、 N は3次元ボクセル内の全画素数、 f_{win} はウィンドウ幅である。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{x,y,z} |f(x, y, z) - f_c(x, y, z)|^2}$$

$$EPSNR = 20 \log_{10} \frac{f_{win}}{RMSE}$$

表1に示す3次元医用画像およびDWTを用いてデータ圧縮を行い、客観的な指標としてRMSEおよびEPSNRを用いて評価を行った。手首部MSCT画像の場合の結果を表2に示す。ただし、 (a, b, c) は x 軸方向に a 回、 y 軸方向に b 回、 z 軸方向に c 回のDWTを行ったことを表す。

†横浜国立大学大学院 工学府/工学研究院

表1 シミュレーション諸元

原画像	手首部 MSCT 画像, 頭部 MRI 画像
画素間隔 $\Delta x, \Delta y$	約 0.4[mm]
スライス間隔 Δz	1,3,5[mm]
画像サイズ	512 × 512 × 200
基本ウェーブレット	Daubechies (DB4)
DWT 回数	6~8 回 (x, y, z 方向の合計)

表2 シミュレーション結果(頭部 MRI 画像の場合)
(a) 合計 DWT 回数が 7 回の場合

Δz	1[mm]		3[mm]		5[mm]	
	RMSE	EPSNR	RMSE	EPSNR	RMSE	EPSNR
(0, 0, 7)	47.4	20.8	68.5	17.5	75.9	16.6
(1, 1, 5)	35.7	23.2	54.4	19.5	60.4	18.6
(2, 2, 3)	23.9	26.6	38.8	22.4	45.0	21.1
(3, 3, 1)	32.1	24.1	34.5	23.4	36.2	23.0

(b) 合計 DWT 回数が 8 回の場合

Δz	1[mm]		3[mm]		5[mm]	
	RMSE	EPSNR	RMSE	EPSNR	RMSE	EPSNR
(0, 0, 8)	48.3	20.6	68.9	17.4	78.0	16.3
(1, 1, 6)	42.8	21.6	61.8	18.4	70.5	17.2
(2, 2, 4)	31.0	24.4	48.7	20.4	53.9	19.6
(3, 3, 2)	32.9	23.9	39.3	22.3	42.4	21.6
(4, 4, 0)	51.7	19.9	51.1	20.0	51.8	19.9

表2より, スライス間隔が 1[mm] の場合は, 合計 DWT 回数が 7 回の場合 (2,2,3), 8 回の場合 (2,2,4) としたときに最も小さい RMSE を得て, EPSNR も高くなっている. 前章での検討の通り, x, y 軸方向よりも z 軸方向の DWT 回数を多く設定し, z 軸方向のデータを少なく, その分 x, y 軸方向のデータを多く保存する方が高画質な 3 次元画像を得られることがわかる. 図2に, 合計 DWT 回数が 6 回の場合の VR 画像の例を示す.

これに対して, スライス間隔が 3,5[mm] の場合は, (3,3,1), (3,3,2) の場合に最も小さい RMSE を得ており, EPSNR も高くなっている. これは, スライス間隔が長くなったことでスライス毎の画素値の変化が大きくなり, z 軸方向の DWT 回数を少なく設定して z 軸方向のデータを多く保存する必要が出た結果と考えられる. 頭部 MRI 画像の場合でも同様の結果を得ており, スライス間隔を考慮して, 適切な方向別 DWT 回数を設定する必要があると言える.

5 まとめ

本稿では, 3 次元医用画像における方向別の画素相関の違いを考慮して, 方向別に異なる回数の DWT を適用することで, 3 次元画像データ圧縮が効率的に実現できることを確認した. スライス間隔が小さい場合は, z 軸方向の分割回数を大きく設定しても画質への影響は少ない. しかしながら, スライス間隔が広くなるとスライス間の相関が低下するため, z 軸方向の分割回数をより小さく設定する必要がある. 画像の性質と画素間隔・スライス間隔を考慮して, 適切な方向別 DWT 回数を設定することで, 効率的な 3 次元医用画像圧縮を実現できる.

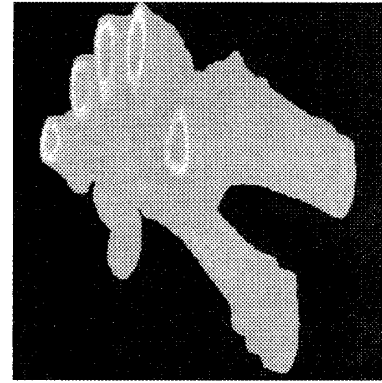
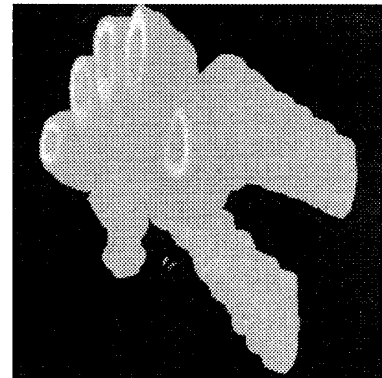
(a) $(a, b, c) = (2, 2, 2)$ の場合(b) $(a, b, c) = (1, 1, 4)$ の場合

図2 圧縮データから復元した 3 次元 VR 画像の例

謝辞

画像データをご提供いただいた筑波大学の半谷美夏医師, 公立昭和病院の村松俊樹医師, 茨城西南医療センター病院の佐山光男技師に深く感謝致します.

参考文献

- [1] 鳥脇純一郎, 3 次元デジタル画像処理, 昭晃堂, 2002.
- [2] 村木茂, 喜多泰代, "3 次元画像解析とグラフィックス技術の医学応用に関するサーベイ", 信学論 D-II, vol. J87-D-II, no. 10, pp. 1887-1920, Oct. 2004.
- [3] Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Part 5: Data Structures and Encoding, National Electrical Manufacturers Association (NEMA), 2007.
- [4] G. Strang, T. Nguyen, Wavelets and Filter Banks, Wellesley, 1996.
- [5] J. Wang, H. K. Huang, "Medical Image Compression by Using Three-dimensional Wavelet Transform", IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 15, no. 4, pp. 547-554, Aug. 1996.
- [6] I. N. Bankman, "Handbook of Medical Imaging: Processing and Analysis", Academic Press, 2000.