

階層型 3次元可逆画像圧縮による医用画像の伝送

Medical Image Transmission Using 3D Hierarchical lossless image compression

明上山 温[†]
Atsushi Myojoyama

坂本 雄児^{††}
Yuji Sakamoto

松島 恭治^{†††}
Kyoji Matsushima

1. はじめに

診断に用いられる医用画像データは MDCT 等の普及により短時間で広範囲の高解像画像が多数得られる。これらの画像データは 1 枚ずつ診断することは少なく、サーフェスレンダリングやボリュームレンダリングにより 3 次元画像化して臨床で用いられる。3 次元画像生成のためにはデータ伝送が必要となるが、遠隔サーバー等で処理・管理を行うときにはデータサイズによる処理時間やネットワーク伝送にかかる時間がボトルネックとなるため、画像の部分抽出等を行う高効率画像圧縮が必要となるが、本研究では測定データの正確な保存と利用を目的とし、可逆圧縮によりできる限り上記の目標に近づく符号化方法を提案する。本手法では、多数の画像データの圧縮を行う場合、画像内のみではなく画像間でも多くの頻度で適用可能なモデルを構築することが全体的な圧縮率の向上につながるため、画像間で再利用可能な符号化モデルを設計した。画像データのサイズ、濃度値の大きさに依存しないモデルについて提案する。また、MDCT 等で得られる画像データはシングルディテクタ CT で得られる画像データと比較して体軸方向のピクセル相関が大きいいため、枚数間の相関を利用した圧縮が有効である。さらにデータの伝送において本手法と単画像圧縮法とについて速度を比較したので報告する。

2. 方法

2.1. テーブルの生成法

本研究で用いた圧縮法は画像データをブロックに分割し、それぞれのブロック内のピクセルの並びをテーブルとして保存するブロック符号化である。このテーブルはピクセルの並びのみを保存するため、1 ピクセルあたりのビット数には依存しない。また、画像内ブロックのサイズが変化してもテーブルサイズが変わらない特徴を持つ。このテーブルを画像のエッジ部分のブロックに適用することで、そのブロック内の符号化効率が向上する。そのため画像内の適切な領域で、適切なサイズを選択して用いる必要がある。テーブルが適用されたブロックはテーブルのソートの能力に応じた割合でソートされ、ほぼ単調増加となる並びとなる。図 1 (a)及び図 1(b)は 8×8 のテーブルを用いない場合と用いた場合による濃度値の走査の対比である。図 1(b)の濃度値の変化が単調であることは明らかである。図 1(c)及び図 1(d)は 4×4 のテーブルを用いた階層型ソートの過程である。図 1(c)は 8×8 のブロックに対して 4×4 のテーブルを適用した結果である。この置換の過程では、8×8 のピクセルのブロックにおける 2×2 のサブブロック内ピクセル

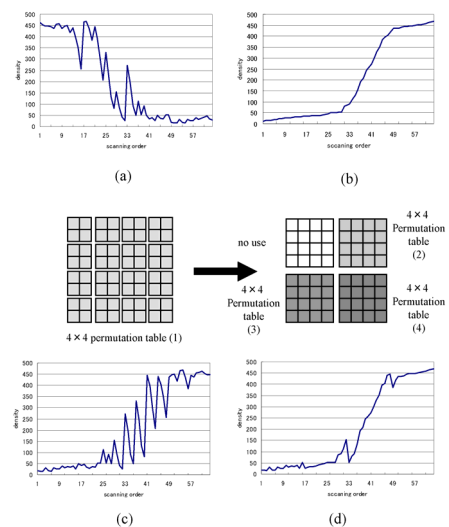


図 1 2次元画像データにおけるテーブル生成法とブロック内濃度値の変化

ルの濃度平均値をソートのキーとする。これにより 8×8 のブロックは大まかにソートされる。しかし、このソートでは多くの位置で急激な濃度値の変化が観測される。図 1(d)は次のブロック分割レベルにおいてのプロットであり、4×4 のテーブルを用いたソートの結果は 8×8 のテーブルを用いた場合と比較すると精度は落ちるが、全体のソートに必要なテーブルのデータサイズは減少する。ブロックのソートに先立ってテーブルのサイズを決定する必要がある。テーブルのパターン数はテーブルのサイズが S_T のとき、 $S_T!$ である。このパターンの全ての参照を可能とするために必要なデータサイズ T_{bit} は $\log_2 S_T$ [bit] となる。 S_T が大きくなると T_{bit} は急激に増加し、 $32 \times 32 = 1024$ サンプルの完全なソートで元画像のデータサイズを超えるため、テーブルのサイズは可能な限り小さく抑えることでデータサイズに関する効率は高くなる。本手法では 2 次元圧縮においては 4×4 のブロックを最小単位とみなし、3 次元拡張においては 2×2×2 のブロックを最小単位とした。

2.2. テーブルの 3次元拡張

テーブルの作成を 3 次元に拡張することにより、枚数方向に対する符号化効率向上が期待できるが、図 2 のように最小ブロックを構成する場合に $2^3 = 8$ ピクセル用いるため、テーブルのパターン数が増大し同一テーブルの出現確率が低下する。このため符号化効率を考慮した新規テーブル生成の制限を行う必要がある。本手法においては図 3 に示すモデル化を行うことにより、以下の制限を用いて新規テーブルの出現数を調整した。

[†] 東京都立保健科学大学, Tokyo Metropolitan University of Health Sciences

^{††} 北海道大学, Hokkaido University

^{†††} 関西大学, Kansai University

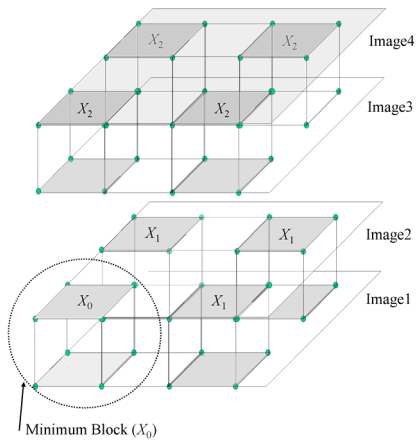


図2 3次元拡張したブロックの構成
(X_1 は X_0+X_1 , X_2 は $X_0+X_1+X_2$ の領域)

$$S_m = \max\{(X_m)_n\} - \min\{(X_m)_n\} \leq Th_w. \quad (1)$$

式(1)において、 m はブロック分割の階層であり、 m が小さいほどブロックサイズが小さくなる。また、 X_m はブロック内のピクセル値の集合であり、 n は $m-1$ のブロック数である。本手法において n は4に固定される。 Th_w はテーブル生成を制限する閾値であり、1ピクセルあたりのビット数と画像データサイズにより変化する。式(1)より算出された S_m が Th_w 以下である場合、図3に示すように異なるテーブル生成法が適用される。 Th_1 未満ではテーブル生成されないため、グラフはミッドトレッド型となる。 $[Th_1, Th_2)$ のとき M_1 が適用され、 $[Th_2, Th_3)$ のとき M_2 が適用される。 $[Th_3$ では全て M_3 が適用される。本手法において、 M は置換の精度であり、 M_1 、 M_2 は不完全な置換を行う。 M_1 は以前に出現したテーブルと隣接2ピクセルの置換の違いを許し、同一のテーブルとみなすものである。 M_2 は隣接1ピクセルの置換の違いを許容する。 M_3 は完全に置換を行うものである。

2.3. 圧縮データの伝送

圧縮データはテーブル、符号データの順に伝送される。本手法では、圧縮データ中の多くをテーブルが占める。テーブル中で、どの画像データについても多く出現する8192通りのテーブルをあらかじめ復号器に持たせることにより圧縮データを更に縮小する。

3. 結果

本手法では、CT画像データが12 [bit/pixel]であるため、ブロック内濃度の範囲を表す Th_w については $Th_1=4$ 、 $Th_2=16$ 、 $Th_3=32$ とした。入力画像データは512×512 [pixel] MDCT画像データ(腹部単純)100枚として、評価を行った。圧縮率の変化については3次元拡張したテーブル生成法と2次元テーブル生成法とで圧縮率について比較を行い、結果を図4に示した。図4より3次元拡張による圧縮法では、12枚程度の圧縮では2次元圧縮と比較して圧縮されないが、それ以上の画像枚数ではよく圧縮されることがわかる。また、2次元圧縮に比べて圧縮率が安定していることも確認できた。JPEG-LSの平均0.34と比較すると、本手法は高圧縮であるといえる。圧縮時間に関してはPentium4 3.0GHz

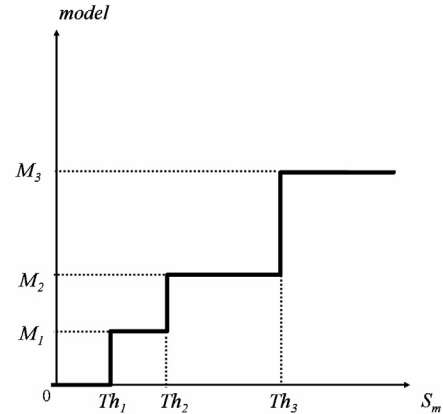


図3 本圧縮法における Th によるテーブル生成法の選択

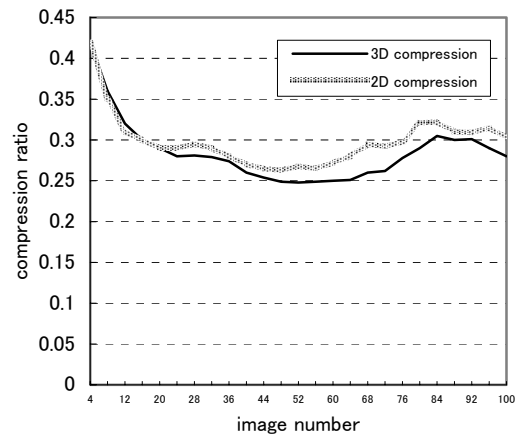


図4 画像枚数による圧縮率の変化

(FSB800MHz, HT)の環境において、2次元圧縮では1枚あたり1.54秒、3次元拡張を用いた場合は2.92秒であった。同じ画像をJPEG-LSにより圧縮した場合、1枚あたり平均0.09秒であることから、圧縮にはかなりの時間を要していることがわかる。一方で復号時間はJPEG-LSの0.19秒に対してそれぞれ0.24、0.65秒であった。データ伝送速度はPCI接続1000BASE-Tを用いたメモリ間伝送を行った場合、全く圧縮率に比例した結果となった。

4. おわりに

本研究では、画像データの枚数間の相関に注目し、テーブルを用いたブロック符号化を3次元ブロックに拡張した手法について提案した。圧縮については高圧縮であることが確認され、ネットワーク伝送に関しても圧縮に比例した速度が確認されたが、圧縮時間についてはテーブルの生成アルゴリズム等改良の必要があることが示された。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号15300025)の支援を受けて行われた。