

## CT 画像の画素値選択型符号化に関する検討

## A study on Level of Interest coding for CT images

橋本真幸<sup>†</sup> 松尾賢治<sup>†</sup> 林弘樹<sup>††</sup> 小池淳<sup>†,††</sup> 下野哲雄<sup>††,†††</sup>

Masayuki Hashimoto Kenji Matsuo Hiroki Hayashi Atsushi Koike Tetsuo Shimono

## 1. まえがき

CT により撮像される画像の枚数は年々増加している。画像診断に使用した大量の画像を長期間蓄積することを考え、大幅に蓄積コストが軽減できる画像圧縮方式に対する要求が高まっている。完全にもとの画像が復元可能な可逆符号化方式では高圧縮は望めないため、ここでは非可逆符号化について検討する。しかし非可逆符号化では診断に重要な画像領域にひずみが生じる可能性がある。そこで注目領域 (Region of Interest: ROI) についてのみ高画質で符号化できる ROI 符号化方式[1]の医用画像圧縮への応用が検討されている。通常の ROI 符号化方式では、符号化の際に画像ごとに ROI を設定する必要があるため、大量の CT 画像すべてに手動で ROI を設定するのは非現実的であるという問題があった。

筆者らはこれまでに ROI 符号化方式をベースとした、注目画素値選択型符号化 (LOI (Level Of Interest) 符号化) 方式を提案した[2]。LOI 符号化では、画像診断の際に医師により選択された特定の画素値範囲に含まれる画素のみを優先的に符号化する。画素値範囲の指定は通常の画像診断で行う操作であるため、符号化のために別途 ROI を設定するなどの余計な操作は必要ない。LOI 符号化された画像を、医師の診断時と同一の画素値範囲を用いて階調変換表示する場合は高い画質が得られる。さらに、LOI 符号化方式では特定の画素値範囲に含まれない画素の情報を削減することで、高い圧縮性能を実現できる。

本論文では、計算機シミュレーション実験により LOI 符号化方式の符号化特性を示すと同時に、ROI 符号化方式と比較した評価を行い、LOI 符号化方式の有用性について議論する。

## 2. LOI 符号化方式

## 2.1 CT の階調変換表示と符号化による画質劣化

CT 画像の画素値は放射線の吸収係数(CT 値)をあらわしており、画像診断時には、医師が注目する部位や臓器を読み取るために、ビューアにて診断に必要な画素値の範囲を選択する。ビューアはその範囲内の画素値のみが輝度階調を持つように画素値から表示輝度値へのマッピング(階調変換)を行い、表示を行う。一般に、画像診断に必要な画素値範囲はウィンドウ幅  $W (>0)$  とウィンドウ中心  $L$  で表される。この画素値範囲の下限および上限はそれぞれ  $w_{\min} = L - \lfloor W/2 \rfloor$ 、 $w_{\max} = L + \lceil W/2 \rceil$  として計算でき、ビューアは(1)式により画像データ中の画素値  $p(x, y)$  と表示輝度値  $l(x, y)$  とを対応付けて階調変換表示を行う。

$$l(x, y) = \begin{cases} 0 & : p(x, y) \leq w_{\min} \\ \lfloor D_1 (p(x, y) - w_{\min}) / (w_{\max} - w_{\min}) + 0.5 \rfloor & : w_{\min} \leq p(x, y) < w_{\max} \\ D_1 & : w_{\max} < p(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

ここで  $\lfloor \cdot \rfloor$  および  $\lceil \cdot \rceil$  はそれぞれ床関数、天井関数を示し、 $D_1$  は表示系の輝度値のダイナミックレンジを示す。図 1 に、(1)式により決定される画素値と表示輝度値の関係を示す。CT 画像の各画素は一般に 12bit 以上の高いビット精度であらわされ、表示系の輝度階調は通常 1 コンポーネントあたり 8bit 精度なので、12bit 階調画像のうちの特定の画素値範囲が 8bit 階調にマッピングされて表示されることになる。しかし非可逆符号化された 12bit 階調画像のある画素値範囲のみを 8bit 階調に変換表示すると、符号化歪が増幅され大幅に画質が劣化することが確認されている。

## 2.2 LOI 符号化方式

筆者らがこれまでに提案した LOI 符号化方式では、符号化する前の原画像を用いた画像診断時に医師により決定された画素値範囲を LOI ウィンドウと定義し、LOI ウィンドウ内の画素値は高精度な量子化を行う。逆に LOI ウィンドウ外の画素に関しては粗い量子化を行う。これにより、符号化画像を再度 LOI ウィンドウにより階調変換して表示した場合の画像品質を改善することができる。図 2 に本方式のブロック図を示す。LOI 画素マスク作成部において、次式により LOI ウィンドウに入る画素の位置を示す LOI 画素マスク  $M(x, y)$  を作成する。

$$M(x, y) = \begin{cases} 1 & : w_{\min} \leq p(x, y) \leq w_{\max} \\ 0 & : \text{上記以外} \end{cases}$$

ここで、1 で示される位置は前景、0 は背景として処理される。次に LOI ウィンドウに含まれる画素を再生するために必要なウェーブレット変換係数の位置を示す LOI 係数マスクが作成される。このマスクにより JPEG 2000 の ROI 符号化[1]を行う。JPEG 2000 では Maxshift 法により ROI 符号化が行われるため、マスクの形状情報を復号器に伝送する必要はない。なお本方式ではウェーブレット分解数は 5 とし、最低周波数帯域と 2 番目に低い周波数帯域のサブバンドに含まれる係数は LOI 係数マスクに関係なくすべて前景として処理する。これによりすべての画素の低周波数成分は優先して符号化されるため、LOI ウィンドウ外の画素についても、ある程度の画質が保たれる。

## 3. 符号化特性

## 3.1 LOI 符号化特性

LOI 符号化方式により符号化した胸部、頭部及び腹部の 12bit 階調 CT 画像を、LOI ウィンドウにて 8bit 階調に変換表示した画像の PSNR 特性を図 3 に示す。同図には比較として通常の JPEG 2000 画像を階調変換した画像の特性も示す。同図より、LOI 符号化方式を用いることによりすべてのビットレートにおいて PSNR が改善することがわかる。

<sup>†</sup> (株) KDDI 研究所, KDDI R&D Laboratories Inc.<sup>††</sup> (独) 情報通信研究機構, NICT<sup>†††</sup> 北海道東海大, Hokkaido Tokai University

その効果は高ビットレートほど大きくなる。これは、従来方式ではレートが高いほど LOI ウィンドウ外の画素に割り当てられるビットも絶対的に多いが、本方式ではこれらのビットが LOI ウィンドウ内の画素に優先的に割り当てられるため、大幅に画像品質が改善したものと考えられる。

### 3.2 客観評価における ROI 符号化方式との比較

本節では、LOI 符号化方式に関して ROI 符号化方式と比較した評価を行い、LOI 符号化方式の有用性について議論する。図4に通常の ROI 符号化画像と LOI 符号化画像の PSNR 特性を示す。ROI 符号化画像については、画像全体の特性と ROI 部分の特性を示す。同図は 12bit 精度の胸部 CT 画像を符号化し、復号画像を LOI ウィンドウにて階調変換して表示した画像の特性である。ROI 符号化の ROI 形状は画像の中央を中心とした円とし、その面積は LOI 符号化における LOI ウィンドウに含まれる画素数と同じ数の画素が含まれる大きさとした(画像全体の 32%)。同図より ROI 符号化では ROI 部分については LOI 符号化よりも高い画像品質が得られることがわかる。しかし ROI 符号化画像全体の PSNR は LOI 符号化画像に比べて大きく劣化している。これは ROI 以外の画像領域の劣化が大きいためであると考えられる。

### 3.3 主観評価における ROI 符号化方式との比較

図5、図6に、それぞれ ROI 符号化画像、LOI 符号化画像を示す。両画像とも 12bit 精度の頭部 CT 画像を 0.5 bit/pixel で符号化し、復号画像を LOI ウィンドウにて階調変換して表示したものである。図5の ROI 形状は前節の客観評価実験と同様のものを用いた。図5より、ROI 符号化画像の ROI 部分については高品質で符号化できるが、ROI 以外の領域については画質が大幅に劣化していることが確認できる。これに対し LOI 符号化方式では、大幅な画質の劣化は見られない。これは、LOI 符号化方式では LOI ウィンドウで階調変換した際に表示対象とならない画素の精度を落としているため、階調変換して表示した場合、劣化した画素は階調を持たずに表示されるためであると考えられる。ただし、表示の際に LOI ウィンドウと異なるウィンドウを用いて階調変換を行なうと、LOI 符号化画像の表示画質は劣化することが確認されている。

## 4. まとめ

本論文では LOI 符号化方式の高い符号化特性を示すとともに、ROI 符号化方式と比較した評価を行い、LOI 符号化方式の有効性を示した。

LOI 符号化方式を用いることにより、階調変換表示した画像の品質を改善できることが確認された。また、ROI 符号化方式の場合、符号化するすべての画像に対して医師が ROI を設定する必要があったが、LOI 符号化方式では符号化の際に通常の画像診断業務で行うウィンドウ調整以外の操作は必要ない。ROI 符号化方式では ROI 部分については LOI 符号化方式よりも高い画像品質が得られる。しかし ROI 以外の画像領域の劣化が大きく、画像全体で見ると主観的、客観的に特性が高いとは言い難い。これに対し、LOI 符号化方式においては LOI ウィンドウによって階調変換表示する限りにおいては画像全体にわたって良好な主観的、客観的品質が得られることがわかった。

## 参考文献

- [1] C. Christopoulos, et.al., "Efficient methods for encoding regions of interest in the upcoming JPEG2000....," IEEE Signal Process. Lett. 7(9), pp. 247-249 Sep. 2000.
- [2] 橋本他, "画素値選択型 CT 画像符号化方式に関する一検討", 2004 信学総大. D-11-18, Mar. 2004.

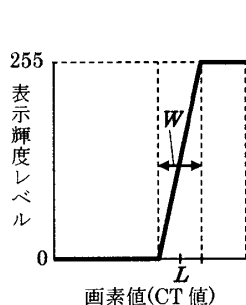


図1 画素値・表示輝度値変換

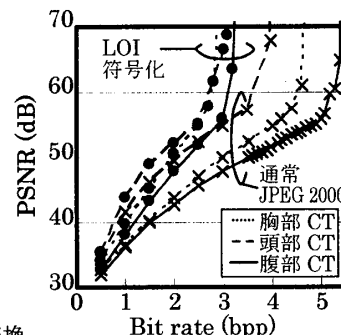


図3 LOI 符号化による PSNR 特性改善効果

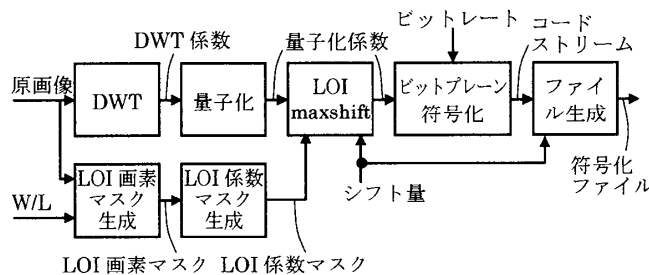


図2 LOI 符号化方式

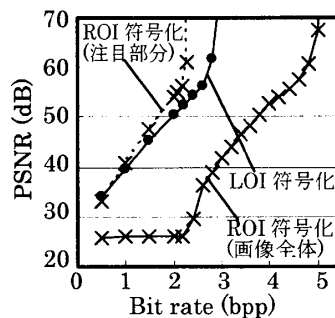


図4 ROI 符号化と LOI 符号化の PSNR 特性

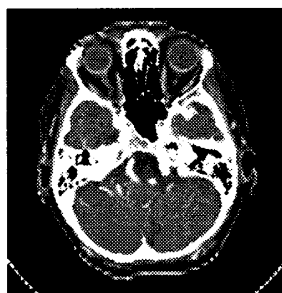


図5 ROI 符号化画像 (円形 ROI : 面積比 32%)

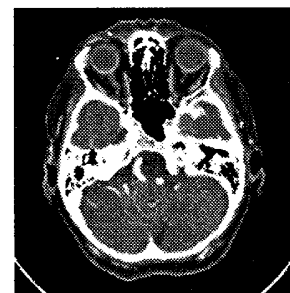


図6 LOI 符号化画像