

階層型 Block Truncation Coding における疑似輪郭低減の提案

A Study on False Edge Reduction for Hierarchical Block Truncation Coding

中村 翔[†] 坂無 英徳[‡] 長木 幸恵[†] 古谷 立美[†] 樋口 哲也[†]

Shou Nakamura Hidenori Sakanashi Yukie Choki Tatsumi Furuya Tetsuya Higuchi

1. はじめに

本研究は、手術安全システム[1]の実現をめざし、高圧縮時における輪郭のボケや色情報の欠落が少ない画像圧縮技術方式について検討する。手術安全システムとは、潜在的な危険性を発見し、情報を手術チームに供給することで適切な判断や行動を支援するツールである。そして、手術に関する知識や統計を蓄積することによって、明文化し手術の工程を標準化するための基礎を集めるツールである。

システムの仕様は以下である。まず、手術室全体の情報を取得するため複数台のカメラを死角が少なくなるように設置し、手術室全体を様々な角度から見た映像を取得する。取得された画像データをリアルタイムに圧縮し、記録媒体である書き換え不可能な DVD に手術終了と同時に書き込む。複数のカメラから取得された最長 10 時間に及ぶ手術を保存することがあり、複数の DVD メディアを生成することになる。しかし、メディアの入れ替えや管理などが難しくなるため、DVD1 枚に収められるような圧縮技術が必要となる。しかし、JPEG といった従来の手法では、高圧縮を行うと輪郭のぼやけや色情報の欠落等が起きてしまう。高解像度は必要とされていないが、術野近辺の輪郭や血液の色といった重要な要素の情報が欠落することは問題である。そこで、産業技術総合研究所が提案した、高圧縮時の輪郭保持能力が高い Block Truncation Coding (BTC) 手法[2]をベースとした適応型 BTC[3]の適用を試みた。これにより、従来手法よりも輪郭を保持することができたが、狭い範囲に多数の色が集中する部分領域においては、色情報の欠落が発生してしまうという課題があった。

そこで、本研究では、任意にブロックの大きさを変更できる階層型 BTC[4]を用い、色の多い箇所を小さなブロックで表現することにより画質を向上させる。階層型 BTC では、画像の一部の領域を小さなブロックで表現することにより、画質の劣化を抑制できる。しかし、ブロックを細分化する際の基準として色の多寡を観測していないため、局所的に多くの色が使用されている画像において、色情報の欠落が起きてしまう等の課題があった。階層型 BTC が適切にブロックの細分化を行えるように、ブロック内の色のばらつきを観測し、再分割の可否を決定するための基準としての統計量を計算する方法を提案する。

2. 提案手法

2.1 BTC(Block Truncation Coding)

BTC は、アルゴリズムが簡単で、画像の輪郭などの画像特徴の保持能力が高いことが知られている[2]。BTC は、画像を複数の同一サイズのブロックに分割し、ブロック毎に画素を 2 色に量子化する手法である。ブロック内の画素を閾値で 2 つの色のまとまり(クラス)に分け、クラスの中で

代表となる色を 1 色(代表色)決め、そのクラスに属する画素をその代表色で近似する。

本研究では、大津らによる最小二乗誤差に基づく自動閾値選定法 [5]を用いてブロック内の画素をクラスタリングし、代表色を求める。本稿では、求められた代表色をクラス代表値、ブロック内の画素がどのクラスに属するかを示す情報をクラスマップと呼ぶ。本研究では、クラス代表値、クラスマップをそれぞれ JPEG2000 と MQ-Coder で圧縮し、高圧縮を可能とする。

BTC 手法では、ブロックサイズを小さくすることにより、画像全体のブロックが増え、表現できる色が増えるため画質を向上することができるが、同時にファイルサイズが大きくなる。すなわち、画質と圧縮率の間でトレードオフを適切に解消しなければならない。

また、ブロック毎にクラス代表値を求める際に、ブロック間の色の繋がりが考慮されていないため、ブロックノイズが発生するという問題がある。滑らかに色の変化が起きる領域では、ブロック内であっても、クラス代表値の境界において色の変化が起これ、疑似輪郭が発生してしまう。これは、画像に本来存在してなかった等高線のような境界が発生するなどの画質劣化の原意となる。

以降では、上記の 2 つの問題点について詳しく説明し、対処方法について提案する。

2.2 階層型 BTC とその拡張

階層型 BTC とは、BTC 手法のブロックサイズを可変にすることによって画質の向上をはかる手法である。BTC 手法では、トレードオフの関係があり、ブロックサイズを変更した場合、全てのブロックサイズが変更になるため、画質とファイルサイズが大きく変動しやすい。そこで、階層型 BTC では、ブロックサイズを可変にすることで、画像の中で、輪郭や色情報が集中する部分領域のみを小さなブロックサイズで表現することができ、画質を向上できる。また、その他の領域はブロックサイズを変更しないため、圧縮率の低減を抑制できる。

処理手順は下記の通りである。まず、BTC 手法と同様に画像を複数のブロックに分ける。この際のブロックサイズを $m_1 \times m_1$ とする。次に、分割された各ブロックにおいて、画素値の分散を計算する。求められた値が、分割の条件としてあらかじめ設定された分割閾値よりも大きければ、そのブロックを縦横それぞれ 2 分割する。分割されたブロックでは、再び分散を求め分割閾値と比較する。この処理を、分散閾値よりも小さくなるかあらかじめ設定した最小ブロックサイズ $m_2 \times m_2$ 以下となるまで繰り返す。分割終了後は、クラス代表値、クラスマップを計算し、それらを本研究では BTC 手法のときと同様に JPEG2000, MQ-Coder で圧縮する。

階層型 BTC では、 m_1 の値を大きく、 m_2 の値を小さく変更することによりブロックの分割回数を多くすることが可能である。これにより、ファイルサイズの制限に余裕があ

[†]東邦大学, TOHO UNIVERSITY[‡]産業技術総合研究所, AIST

る場合に分割対象を小さなブロックで表現できる。また、ブロックを細分化する際の基準を変えることにより、分割対象となる領域を変更することができるので、画像内の輪郭が集中する箇所や色情報等が集中する箇所を分割対象とすることが可能になる。

また、従来の階層型 BTC では、ブロックを細分化する際の基準としてダイナミックレンジや分散を用いるが、局所的な色の多寡を観測していないため、ブロックを上手く再分割できないという課題があった。

色の多い局所領域は、色情報のばらつきが高いと予想され、情報のばらつきを示すエントロピーを用いることで色が集中しているブロックの検出が可能と期待できる。

そこで、本研究では、階層型 BTC のブロック内の統計量計算にエントロピーを用いることを提案し、以下の手順で求める。人の視覚特性は、緑の変化に敏感で青の変化に鈍感であるため画素値を RGB 空間のまま RGB を同等に扱うことは不適切だと考えられる。そこで、画素値を RGB 空間から人の視覚特性に基づいて設計された YCrCb 空間の輝度情報である整数値 Y に変換する。

$$Y = [0.2989 \times R + 0.5866 \times G + 0.1144 \times B + 0.5]$$

変換後、ブロック内の画素の総数 N として各画素の輝度情報 i の出現確率 P_i を求める。ブロック内のエントロピー H は、

$$H = - \sum_{i=0}^N P_i \times \log_2 P_i$$

と計算される。

ここまでの説明において、ブロックサイズの大小に関わらず、分割閾値は同じものと考えてきた。しかし、分割されてブロックサイズが小さくなったブロックと分割されていないブロックを更に分割することを考えた場合、より大きいブロックを分割したほうが画像の変化が大きいため画質の向上が期待できる。

そこで、2 回まで分割を行う場合、1 回目の分割の分割閾値を A 、2 回目の分割の分割閾値を B とし、階層ごとに分割閾値 ($A < B$) を変えることを提案し、計算機実験でその有効性を示す。

2.3 BTC 処理後のブロックノイズ、擬似輪郭の低減

BTC 手法を用いることによって高圧縮でも、輪郭の保持を行うことができたが、その処理の関係上、ブロックノイズや擬似輪郭が発生しやすくなる。しかし、ガウシアンフィルタのような従来の画質補正フィルタでは、ノイズを除去することは可能だが、全体的にぼやけた画像になりやすく BTC 手法で残した輪郭情報を欠落させてしまう場合がある。また、エッジを考慮した平滑化フィルタでは、ブロックノイズや擬似輪郭もエッジと判断され、ノイズを除去することができない場合がある。

また、BTC 手法は、ブロック内で表現できる色数が制限されているため、同じクラスに属する画素値が続くことが多い。そのため、従来の画質補正フィルタでは、注目画素と係数に利用される近傍画素の画素値がすべて同じになりやすい。係数に利用される近傍画素に異なる画素値が含まれる場合は、ブロックの境界やブロック内のクラスの境界の画素近辺のみになる。そのため、一度の走査では、画像

全体にフィルタの効果が生じにくく、何度もフィルタをかける必要がある。

そこで、本研究ではブロックノイズを除去し、擬似輪郭を抑制し、BTC に適した新たな画質補正フィルタを提案する。

本提案手法では、補正する注目画素の隣接画素の情報ではなくより広い範囲の情報を利用するためクラスマップやクラス代表値といった、すでに計算されて処理コストのかからない隣接ブロックの情報を利用し、注目画素までの距離に基づく下記の加重平均フィルタを用いて補正を行う。

$$col(P) = \frac{\sum_{i=0}^M d^{-1}(pos(P), cen(B_i)) \times s\{col_k(B_i), col(P)\}}{\sum_{i=0}^M d^{-1}(pos(P), cen(B_i))}$$

ここで、 P は注目画素、 M は隣接ブロックの総数、 $col(Q)$ は画素 Q の色ベクトル、 $pos(P)$ は P の位置、 $cen(B)$ は隣接ブロック B のクラス代表値の位置(本研究ではブロックの中心にあると仮定する)、 $\{col_k(B)\}$ はブロック B における全てのクラス代表値ベクトルによる集合、 $s(X_k, Y)$ は集合 X_k から色ベクトル Y に最も近い要素を選択する関数、 $d^{-1}(a, b)$ は 2 点 a, b の距離の逆数である。

注目画素を含むブロックと隣接ブロックのどちらかに画像の輪郭が含まれていると、注目画素と隣接ブロックのクラス代表値の色が大きく異なる場合がある。その場合において、上記式をそのまま適用してしまうと、本来残すべきであった輪郭情報が欠落してしまうおそれがある。そこで、上記式の前処理として、隣接ブロックのクラス代表値と注目画素の色が、画素値の差を計算して一定以上離れていた場合、その影響を少なくするために、その隣接ブロックに重みをつけ処理を行う。

本研究では、注目画素と隣接ブロックのクラス代表値の色が、離れていると判断された場合、その隣接ブロックを参照せず残りの隣接ブロックのみで処理を行う。

3. 計算機実験

本研究では、横 720×縦 480 の大きさ、ファイルサイズ 980K の手術画像(図 1)を用いて計算機実験を行った。本稿では、階層型 BTC でブロックを細分化する際の基準にエントロピーを用い、階層ごとに異なる閾値としたものを提案手法とする。また、階層型 BTC でブロックを細分化する際の基準に分散を用いたものを階層型 BTC(従来手法)とする。

なお、 $m_1=32$, $m_2=8$, すなわち分割回数を最高 2 回として実験を行った。

図 2 と図 3 はそれぞれ、提案手法と階層型 BTC(従来手法)の分割の様子を表した図である。白に近い色ほど分割が行われており、小さなブロックであることを示している。両図から、階層型の画素を用いた統計量計算によって分割対象が異なることがわかる。手術画像は、手術室全体を写したものであり、様々な機器が全体的においてある。このような画像において、手術室の情報を得るためには、画像全体で、輪郭の欠如や色情報の欠落を抑制すべきだと考えられる。この場合、階層型(従来手法)では、一部の領域に分割が偏っているため輪郭の欠如などが起きることが予想できる。提案手法では全体的に分割が行われており、輪郭

の欠如が少ないことが分かる。両手法の PSNR はそれぞれ、提案手法 23.0467(dB)、従来手法 22.6779(dB)となり、提案手法の方が客観評価で画質が高いことがわかった。

図4は、閾値を階層ごとに変更した場合(提案手法)と変更しなかった場合(階層型BTC(エントロピー手法))、および階層型BTC(従来手法)の比較のグラフである。縦方向に画質評価値PSNR(dB)を取り、横軸にファイルサイズ(Byte)をとっている。グラフを比べると提案手法の方が階層型BTC(従来手法)よりも画質が向上していることがわかる。また、提案手法と階層型BTC(エントロピー手法)を見比べてみると、提案手法のほうが評価は高く、閾値を階層ごとに変更した場合に画質が向上していることがわかる。

4. おわりに

本研究では、手術映像の保存のための圧縮技術として階層型BTCを用い、局所的に輪郭や色情報の集中する領域の画質を上げつつ圧縮効率の低下を抑制した。そして、従来手法での問題であった色の多い局所領域での色情報の欠落を抑制するためにエントロピーを用いた統計量計算を用いた。その結果、分割の対象が局所的に色の多い箇所に変わり、色情報の欠落を抑え、画質が向上した。

更に、階層ごとに閾値を変更することによって、画質の劣化を少なくし、画質の向上を行うことができた。

謝辞

本研究は、NEDO インテリジェント手術機器研究開発プロジェクトの一部として実施した。

参考文献

- [1]南部恭二郎,伊関洋,“手術戦略デスクと手術安全システム”, 生体工学 44 巻 2 号(2006 年 6 月)
- [2]Pasi Franti,Olli Nevalainen,Timo Kaukoranta:“Compression of Digital Images by block truncation Coding:A Survey”,The Computer Journal,vol.37,No.4,1994
- [3]坂無英徳,郡由佳,関田巖,森下雄介,古谷立美,樋口哲也:“色空間変換を用いた低ビットレート向きBTC画像符号化”,第34回画像電子学会年次大会予稿集,pp.95-96,2006.
- [4]Jennifer U.Roy, Nasser M. Nasrabadi:“Hierarchical Block Truncation Coding”, OPTICAL ENGLISH,May 1991,vol.30 NO. P551
- [5]大津展之,栗田多喜夫,関田巖:“パターン認識 理論と応用”,朝倉書店

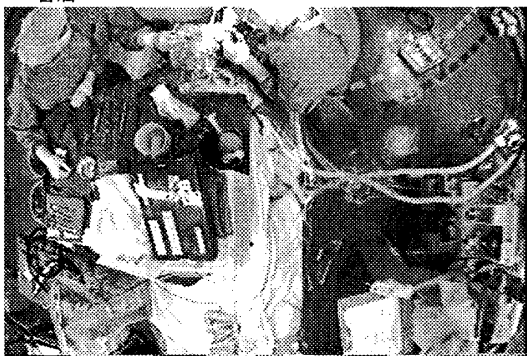


図1 実験画像

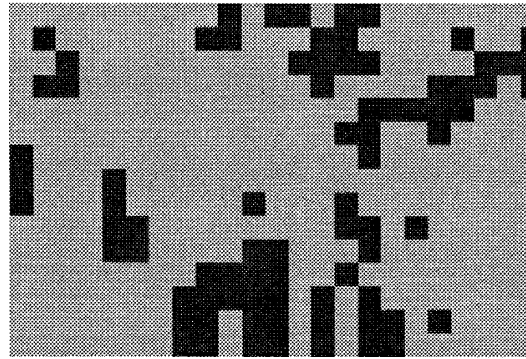


図2 提案手法による分割の様子

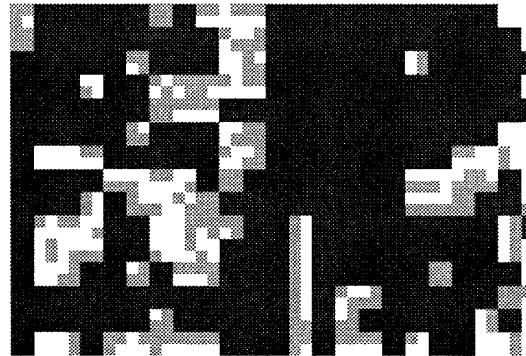


図3 階層型BTC(従来手法)による分割の様子

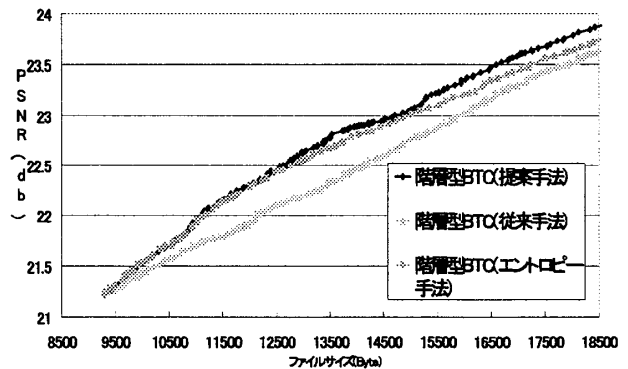


図4 各提案手法の客観評価のグラフ