

Block Truncation Codingにおける色分布のクラスタ解析手法に関する検討

栗原 司[†] 中村 翔[†] 坂無 英徳^{††}
古谷 立美[†] 樋口 哲也^{††}

本稿では、BTC(Block Truncation Coding)を用いた画像圧縮手法の画質と処理速度の機能向上を目的として、圧縮処理における主要な役割を果たすクラスタ解析について検討し、k-meansを拡張した方式を提案する。

k-meansは、アルゴリズムが簡単でありながら、良好な結果を得られるため、広く利用されている。しかし、不適切な初期状態を与えると誤ったクラス分類を行う、収束するまでに多くの繰り返し計算を必要とする、などの問題がある。そこで、提案するクラスタ解析では、輝度値や色情報に基づいて初期クラスタ中心を決定する方法を提案する。また、繰り返し計算を完全な収束まで行わなくても、BTC処理によって得られる画質は劣化しないことを示す。また、色空間変換がクラスタ解析に与える影響についても検討する。

Cluster analysis technique of color distribution in Block Truncation Coding

TSUKASA KURIHARA,[†] SHOU NAKAMURA,[†]
HIDENORI SAKANASHI,^{††} TATSUMI FURUYA,[†]
and TETSUYA HIGUCHI^{††}

This paper purpose is an image quality of the image compression machine that uses BTC(Block Truncation Coding) and an improvement of the processing speed. It proposes the cluster analysis based on k-means to the class separation that is the main role of the compressor for that. And, it experiments on the computer and the effect is examined.

Because the algorithm can analyze the cluster easily and effectively, the k-means method is widely used. However, when an improper initial class is given, an excellent division result is not obtained. There are repeatedly a lot of calculations. Then, it proposes the initial cluster decision method that decides an efficient value based on the radiance value and color information in the proposed cluster analysis. Moreover, it is shown that it is unquestionable for the image quality even if it doesn't change to settling in the cluster center in BTC. In addition, The influence of the color space conversion is examined.

1. はじめに

本稿では、遠隔支援システム及び手術安全支援システムで利用される、BTC 画像圧縮器の処理速度と画質向上を目的とし、その中で主要な役割を果たすクラスタ解析手法について検討する。

遠隔支援システムとは、映像や音声を無線やインターネットを用いて遠隔地にいる支援者に転送し、電動車いす利用者や救急車の活動を補助することを目的としたシステムである¹⁾²⁾ 手術安全支援システムとは、手術室に設置された複数のカメラで記録することで、手術の工程を標準化するための基礎データを収集し、潜在的危険性を発見可能とするシステムである。手術チーム全体で状況の共有し、適切な判断と行動が可能となることが期待される³⁾。

しかし、これらのシステムを効率的に運用するためには、通信帯域が狭く不安定な無線通信の利用、データの準リアルタイム圧縮、保存メディアの容量制限などの問題をクリ

アしなければならなく、データの高速度低ビットレート圧縮が必要である。しかし、従来手法では色情報の欠落や、輪郭のボケが生じてしまい、適した画質を得ることが難しかった。

そこで、産業技術総合研究所では、輪郭の再現性に優れる画像圧縮方式として知られる BTC 方式 (Block Truncation Coding)⁴⁾を用いた手法⁵⁾を提案してきた(以降、本論文では産総研 BTC 手法と呼ぶ)。産総研 BTC 手法とは、信号や標識で警戒色とされる黄色の再現向上を目的とした色空間変換と、ブロックノイズ低減のための画質補正フィルタを導入し、簡単なフレーム間予測により動画像における圧縮率向上を目指した手法である。しかし、導入された色空間変換により、黄色以外の色に影響がでるなど画質が低下する場合があった。また、手術安全システムでの利用を考慮すると、より高速な圧縮処理と高い画質が求められる。

そこで、本研究では、圧縮処理速度向上のため、産総研 BTC 手法において最も計算コストの高い処理である画素のクラスタ解析に着目して、画質と処理速度を向上させる技術について検討する。また、本研究では幾つかの代表的な色空間の比較を行う。

[†] 東邦大学
Toho University
^{††} 産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST)

2. 従来法

2.1 BTC(Block Truncation Coding)

BTCとは、画像を複数のブロックに分割し、ブロック毎に各画素を限定された数の代表色で量子化する符号方式である⁶⁾。限定された数の代表色を決めるためには、クラスタ解析を行う。クラスタ解析とは、ブロック内の画素をクラスにわけ、クラス内で代表色を決めることである。ブロック内の画素を少ない色の数で表現するため、必要な情報量が減るので高圧縮することができる。クラスタ解析後は、各クラスの色情報であるクラス代表値を格納したクラス代表値マップと、各画素にどのクラス代表値を割り当てるかを表したクラスマップに変換される。それぞれMQ-CoderとJPEG 2000により可逆符号化することでさらに圧縮率を得る。デコーダでは、近似されたブロックと代表色を元に、画像が復元される。

BTCは画像の輪郭を表現する能力が高く、高圧縮しても輪郭を保持しやすいという性質が知られている。産総研BTC方式では、クラスタ解析に大津の自動閾値選定法を用いている。しかし、大津の自動閾値選定法は画素を2クラスに分けるクラスタ解析であり、多クラスで表現する高画質化には向いていない。そこで、提案手法ではクラス数を指定でき、アルゴリズムが簡単でありながら、良好な結果を得られるk-means法を基にクラスタ解析を提案する。

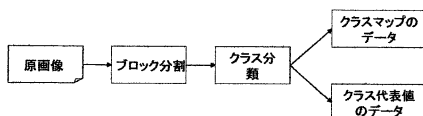


図1 BTC圧縮の手順

2.2 k-means

k-meansとは、非階層的方法の代表的手法である。この手法は、k個の初期クラスから平均二乗誤差のが最小となる局所最適解を求めるアルゴリズムである。以下に一般的な手続きを簡単に述べる。

1. 初期クラスの決定

k個の初期のクラスタ中心をランダムで与える。

2-1. クラスタ中心の変更

各要素とクラスタ中心の類似度(距離)をユークリッド距離の2乗でとり、各要素をもっとも近いクラス中心のクラスに割り当てる。

2-2. クラスタ中心の変更

各クラスに含まれる要素の重心を新しいクラス中心とする。

3. 終了条件

新しいクラスがすべて以前と変化しなければ終了。そうでなければ2に戻る。

k-means法は、アルゴリズムが簡単で効果的にクラスタ解析を行うことができるため、広く利用されている。しかし、

以下のような問題が知られている。

- 初期クラスに対する依存性が強く、不適切な初期クラスを与えられると良好な分割結果が得られない。
- 初期値の依存性を軽減するために、初期クラスをランダムに変更して何回か解析して、その中で出現率が高いものを使用する方法が使われる場合があるが、処理時間が長くなってしまふ。
- クラスタ中心の変更を繰り返し行って量子化誤差を低減させなければ良好なクラスタ解析結果を得られないので計算量が多い。また、要素がクラス間を往復して収束しない場合がある。

3. 提案手法

3.1 アプローチ

k-meansの問題を解決するため、本研究では以下のような2つの方法を提案する。

提案するクラスタ解析では、初期クラスに対する依存性と、結果の不安定性に対し、画像の輝度値と色情報を基に初期クラスを決定する手法を提案する。これにより、何回も解析をしなくてよい。

量子化誤差を低減させるための計算量が多い。要素が収束しない。などに対しては、クラスタ中心の変更を収束まで行わなくてもBTCにおいては画質は劣化しないことを示す。これにより圧縮処理を高速化することが可能となる。

3.2 輝度値と色情報に基づく初期クラス決定法

提案手法では、人の目は色情報よりも輝度値の変化に敏感という人間の視覚特性を利用して、輝度情報に基づく基準で3つの初期クラスを決定し、色情報に用いた基準で1つの初期クラスを決定する(産総研BTCでは高画質化に伴いブロック内クラス数を4とした)。輝度値を反映させた初期クラスを用いることにより、人間の視覚特性にあった結果が得られる。各初期クラスの決定法について、以下に詳しく述べる。

G_1, G_2, G_3, G_4 を初期クラスタ中心の集合とする。

- (1) ブロック内全ての画素の中で輝度値が一番大きいものをクラスタ中心 G_1 、一番小さいものをクラスタ中心 G_2 とする。
- (2) G_1 と G_2 の平均値をクラスタ中心 G_3 とする。
- (3) 色空間の3つの軸を8等分に区切ることにより、512個の空間領域を作成する。区切られた空間領域の中で、分布された画素が最も含まれている空間領域の中心をクラスタ中心 G_4 とする。

3.3 クラスタ中心の変更回数の停止基準

提案手法では、類似度に計算が簡単なマンハッタン距離を用いる。マンハッタン距離とは、2点間の直交距離のことである。 n 次元ベクトル空間の二点 $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$,

$b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ のマンハッタン距離 d は、

$$d(a, b) = \sum_{i=1}^n |a_i - b_i|$$

となる。ユークリッド距離に比べ計算量が少なく、単純なため処理速度が向上する。

また、クラスタ中心の変更を収束まで行わなくても BTC 処理によって得られる画質は劣化しないことを示す。そのため、クラスタ中心の変更回数に停止基準を設ける。クラスタ中心の変化による計算を中断するので、量子化誤差は収束まで計算するのに比べ大きくなってしまいが、クラスタ中心の変更回数を少なくとも良好な結果を得られることを 4.1 節で明らかにする。

4. 計算機実験

画質の評価には、客観的評価基準として PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) と、主観的評価基準として 5 名の被験者に画像を見てもらい、より原画像を忠実に再現している方を選んでもらう主観的評価試験を採用した。ブロックサイズは 32、ブロック内色数は 4 とした。

4.1 クラスタ中心の変更回数と画質の比較実験

本稿で提案した手法の性能を評価するため、 256×256 画素 (193KB) のテスト画像 1(SIDBA の標準画像 Pepper 図 4) を用いて計算機実験を行った。(図は、比較しやすいように一部を拡大して載せる)

輝度値と色情報を利用した初期クラスタ決定法とマンハッタン距離による類似度計算を使い、クラスタ中心の変更回数を PSNR と処理速度で比較する。

図 2 縦軸が処理速度であり、横軸はクラスタ中心の変更回数である。このグラフから、クラスタ中心の変更回数が増えるにつれ、処理速度が遅くなることがわかる。

図 3 は縦軸が PSNR であり、横軸はクラスタ中心の変更回数を示している。このグラフから、PSNR もクラスタ中心の変更回数が増えるにつれ上昇することがわかる。しかし、PSNR はクラスタ中心の変更回数が 3 回を超えたあたりからほとんど上昇していないことがわかる。そこで、クラスタ中心の変更回数を 3 回 (図 7) の場合とクラスタ中心が収束するまで計算させた場合 (図 6) を比較する。

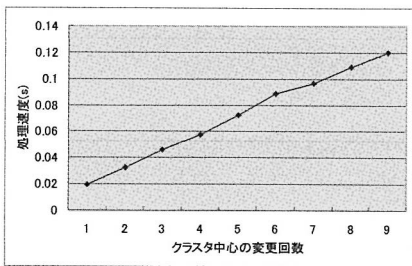


図 2 クラスタ中心の変更回数と処理速度

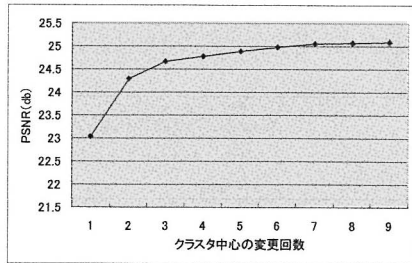


図 3 クラスタ中心の変更回数と PSNR

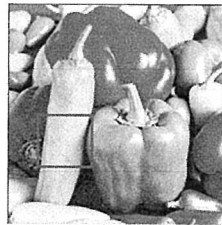


図 4 テスト画像 1:Pepper



図 5 テスト画像 1 の一部

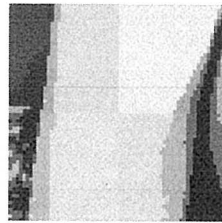


図 6 収束まで計算 (PSNR:25.14)

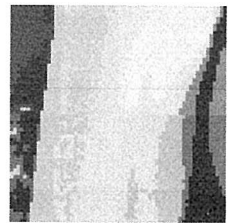


図 7 クラスタ中心変更回数 3 回 (PSNR:24.66)

図 6 と図 7 を主観評価で比べてもらおうと被験者全員が図 7 の方を選んだ。これは輝度値と色情報を利用した初期クラスタ決定法により輝度を反映した値を初期クラスに持っているが、クラスタ解析を収束するまで行うことで、クラスは類似している要素の重心に移動していき、要素の中間色を出力いくので、初期クラスの輝度情報が意味をなさなくなったためと思われる。よってクラスタ中心の変更回数を 3 回にしても画質には問題ない。

4.2 提案手法の実装実験

本稿で提案した手法の性能を評価するため、手術映像から切り出した 301×225 画素 (199KB) のテスト画像 2(図 8) を用いて計算機実験を行った。以降、大津の自動閾値選定法を使った産総研 BTC 手法を従来手法とし、輝度値と色情報を利用した初期クラスタ決定法と類似度計算にマンハッタン距離、クラスタ中心の変更回数に停止基準を導入した提案クラスタ解析を使った産総研 BTC 手法を提案手法とする。

従来手法 (図 9) と提案手法 (図 10) を主観評価で比べてもらおうと 3 人が提案手法を選択した。PSNR では従来法より低くなってしまいが、主観評価では従来手法よりよ

い結果が出た。従来手法と提案手法の処理速度はそれぞれ0.0742(s)と0.0629(s)で、処理速度が向上している。また、ブロックサイズを8×8とし、より高画質で圧縮した場合、従来手法と提案手法の処理速度はそれぞれ0.0951(s)と0.0723(s)で、高画質化することで従来法との差が大きくなり、高画質化に有効的であることがわかる。

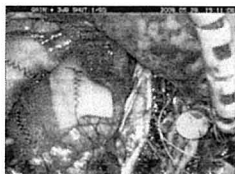


図 8 テスト画像 2:原画像



図 9 従来手法 (7.18KB)
(PSNR:26.98)



図 10 提案手法 (7.70KB)
(PSNR:26.71)

4.3 実験 4：色空間変換の調査

色空間変換による効果を評価するため、手術映像から切り出した320×240画素(225KB)のテスト画像3(図11)を用いて計算機実験を行った。(図は、比較しやすいように一部を拡大して載せる)

色空間をYUV, HLS, CIElabそれぞれに変換して比較し、色変換が提案クラスタ解析に与える影響を調査する。



図 11 テスト画像 3:手術映像



図 12 テスト画像 3 の一部



図 13 RGB(PSNR:26.84)



図 14 YUV(PSNR:26.71)



図 15 HLS(PSNR:26.69)

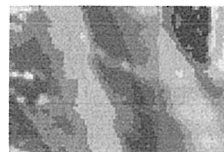


図 16 CIElab(PSNR:26.58)

色空間を換えることによって大きな変化は得られなかったが、手術器具の部分が色空間ごとに違う再現の仕方をしてるのがよく見て取れる。今後、色空間の一部の軸の大きさを換えるなどして、色空間をさらに提案クラスタ解析に適応させれば、提案手法の更なる性能向上が期待される。

5. まとめ

本論文で、提案クラスタ解析による遠隔支援と手術安全支援システムにおける産総研BTC圧縮の機能向上と、色空間変換が提案クラスタ解析に与える影響の調査を行った。

提案手法では、輝度値と色情報に基づく初期クラスタ決定法、クラスタ中心変更回数の停止基準を組み合わせたk-meansを基としたクラスタ解析である。

計算機実験により、BTCにおけるクラスタ解析ではクラスタ中心変更回数を3回までにしても画質に問題ないことを示した。それにより、計算量を減らすことで処理速度は大幅な向上ができ、また、量子化誤差は収束まで計算するに比べ大きくなるが、人間の視覚特性を利用した提案初期クラスタ決定法により、画質を保てた。提案クラスタ解析と従来法式の比較実験では、提案クラスタ解析が従来方式のものより、画質と処理速度でともに有効性が示せた。色空間変換の調査では、提案クラスタ解析の更なる性能向上の可能性を確認できた。

参考文献

- 1) Iwao Sekita, Hidenori Sakanashi, Yuka Koori, Hiroyuki Mori, and Tetsuya Higuchi. Auxiliary support-system for independent traveler using electric wheelchair. Proceedings of RESNA2006, CD-ROM, 2006.
- 2) Iwao Sekita, Hidenori Sakanashi, Yuka Koori, Hiroyuki Mori, and Tetsuya Higuchi. Auxiliary support-system for wheelchair users. pp. 61-62. Proceedings of the ISDOP2006, 2006.
- 3) 南部恭二郎, 伊藤洋. 手術戦略デスクと手術安全支援システム. 第44巻. 生体工学, 2006.
- 4) Pasi Franti, Olli Nevalainen, and Timo Kaukoranta. Compression of digital image by block truncation coding. Vol. 47. The Computer Journal.
- 5) 坂無英徳, 郡由佳, 関田巖, 森裕之, 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. pp. 95-96. 第34回画像電子学会年次大会予稿集, 2006.
- 6) T.Kurita and N.Otsu. A method of vlock truncation coding for color image compression. Vol. 41, pp. 1270-1274. 1993.