

Total Variation に基づく画像雑音除去の高速化手法

A Speed-up Method for Total Variation-Based Image Denoising

大谷 宏文†
Hirofumi Otani

平田 健悟†
Kengo Hirata

黒木 修隆†
Nobutaka Kuroki

沼 昌宏†
Masahiro Numa

1. はじめに

近年、動画の圧縮技術として用いられている MPEG や JPEG では、圧縮後の動画中にモスキートノイズやブロックノイズなどのデジタルノイズが発生することが問題となっている。このような雑音の除去技術の 1 つとして Total Variation に基づく画像雑音除去がある。Total Variation に基づき画像を分離すると、1 枚の画像を輝度の変動が少ない骨格画像と激しいテクスチャ画像に分離することができる [1]。画像分離例を図 1 に示す。画像に生じる雑音は輝度の変動が激しいため、この処理によりテクスチャ画像として除去することが可能である。また、Total Variation に基づく画像雑音除去は画像中のエッジ部分の平滑化を抑えて、雑音を取り除くことができる。しかし、従来のアルゴリズムは画像の RGB 全画素に繰り返し処理が必要となるため [2]、処理時間が膨大となる問題点があった。そこで本稿では、Total Variation に基づく画像雑音除去の高速化手法を提案する。提案手法では、処理の対象を画像中の複雑な領域とブロックノイズが生じる領域付近の輝度成分に限定し、さらに得られるテクスチャ画像の各画素における値の変化に注目し、収束判定を行うことにより高速化を実現する。

2. 高速化手法の提案

2.1 提案手法の概要

提案手法の処理の流れを図 2 に示す。図中の各ステップは以下ようになる。

- Step 1 原画像の色空間を RGB から YUV に変換する。
Step 2 画像の輝度成分 Y を $S \times S$ pixel のブロックに分割し、ブロックごとに標準偏差を算出する。
Step 3 標準偏差の大きいブロックの輝度成分 Y に対して Total Variation に基づく画像雑音除去を行い、骨格成分 Y_u とテクスチャ成分 Y_v に分離する。このとき、繰り返し処理中に収束したと判定された

画素についてはその時点で処理を終了し、それ以外の画素については最大 Q 回の繰り返し処理を行う。

また、標準偏差の小さい領域で、ブロックノイズが発生する領域付近に対しても、処理を行う。ただし、この処理領域においては収束判定を行わない。

- Step 4 得られたテクスチャ成分 Y_v を除去された雑音とし、骨格成分 Y_u と原画像の色差成分 U, V を用いて RGB 変換を行い、骨格画像を作成する。これにより雑音除去された画像が得られる。

2.2 処理領域の選択

提案手法では、画像をブロックに分割し、そのブロックに含まれる画素の輝度値の標準偏差を計算して、その値が閾値 Th 以上のブロックにのみ処理を行う。標準偏差が大きいブロックは、その中に含まれる画素の輝度値の変動が激しいため、Total Variation に基づく画像雑音除去で取り除かれる雑音が多く含まれていると考えられ、より有効な領域を選択して処理が可能となる。

また、画像のエッジ部分では標準偏差が大きくなるため、標準偏差による処理領域の選択は、主にエッジ周辺に生じるモスキートノイズの除去に適していると考えられる。



図 1 画像分離例

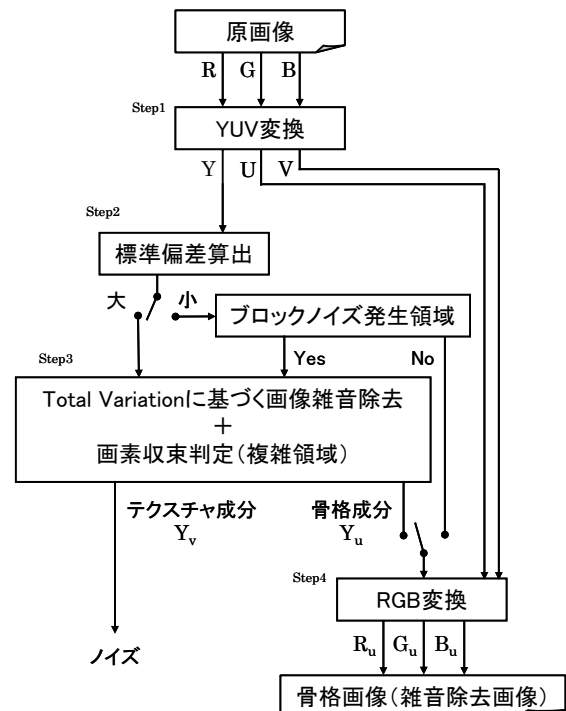


図 2 提案手法による処理の流れ

† 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

画像中のほとんどの雑音は、標準偏差により選択される処理領域に含まれ除去できるが、ブロックノイズは標準偏差が小さく、処理領域から外れることがある。そこで、標準偏差によって選択される処理領域に加え、ブロックノイズが生じる 8×8 pixel のブロックの境界付近 4 pixel についても処理領域として雑音除去を行う。

2.3 画素収束判定

Total Variation に基づく画像雑音除去では、繰り返し処理を行っていく過程で、得られる骨格画像とテキスト画像の変化が収束していく。そこで、1 回の処理ごとに得られるテキスト画像の各画素の値の変化に注目し、変化が収束したと判定した画素に関しては、その時点で処理を終了する。 n 回目の処理で得られるテキスト画像の画素 (i, j) における値を $p_{i,j}^n$ とし、 n 回目と $n+1$ 回目の処理で得られる各画素の値の比

$$\alpha = \frac{p_{i,j}^n}{p_{i,j}^{n+1}} \quad (1)$$

を繰り返し処理ごとに求め、得られた α が 1 付近の値 $1-d \leq \alpha \leq 1+d$ (2)

をとる画素に対して収束したと判定し、処理を終了することで、収束した画素に無駄な処理が行われ続けるのを防ぐことができる。

3. 評価実験と考察

3.1 実験方法

提案手法の有効性を示すため、雑音除去を行った際の画質 (PSNR) の改善速度を用いて評価を行う。従来手法、提案手法ともに処理回数を変化させ、処理時間と PSNR の関係をグラフにプロットする。ただし、提案手法では画像を 3×3 pixel のブロックに分割し、その標準偏差が $Th = 10$ 以上のブロックに処理を行い、収束判定の条件は式(2)において $d = 0.001$ とする。

得られたグラフから PSNR 上昇時の画質の改善速度を求める。各手法で、最大の繰り返し回数、処理を行った際に得られる PSNR の増加分の 95% に達するまでに要する処理時間を T [sec], そのときの PSNR 値を $PSNR_T$ [dB] とし、0 [sec] 時の PSNR 値を $PSNR_0$ [dB] とすると、画質の改善速度

表 1 雑音除去時における画質の改善速度

評価画像	画質の改善速度 v_{imp} (dB/sec)		改善率(倍) ①/②
	①提案手法	②従来手法	
airplane	4.87	1.94	2.50
lena	4.01	1.82	2.20
girl	3.31	1.88	1.76
ポートレート	3.40	1.64	2.07
釣具	3.00	1.43	2.10
arabic	0.55	0.25	2.16
arrow	6.72	2.74	2.46
dial	5.29	1.94	2.72
moon	6.71	3.38	1.98
town	2.68	1.13	2.37

v_{imp} [dB/sec] は、0 [sec] から T [sec] までのグラフの傾き

$$v_{imp} = \frac{PSNR_T - PSNR_0}{T} \quad (3)$$

として計算する。また、評価画像はサイズの異なる階調数 8 bit の画像 10 枚を JPEG 圧縮したものを用いる。

3.2 結果と考察

図 3 に画像 airplane における処理時間と PSNR の関係を示す。提案手法における画質収束後の PSNR に関しては、従来手法に比べ、約 0.077~0.236 dB ほど劣る結果となった。しかし、図 4 に示す雑音除去結果を比較すると、それぞれの手法で得られた画像には、視覚的な違いはほとんど見られなかった。また、画質の改善速度は表 1 に示すように、従来手法の約 1.76~2.72 倍となり、提案手法は従来手法とほぼ同程度の画質改善効果を保ちながら、処理の高速化を行えたと言える。

4. まとめ

本稿では Total Variation に基づく画像雑音除去の高速化手法を提案した。評価実験の結果、画質の改善速度は約 1.76~2.72 倍向上し、提案手法の有効性を示すことができた。今後の課題としては、色差成分に対する処理や、動画への適用を考慮した高速化手法の検討が挙げられる。

参考文献

- [1] L. I. Rudin, S. Osher and E. Fatemi, "Nonlinear total variation based noise removal algorithms", Physica D, Vol.60, pp.259-268, 1992.
- [2] A. Chambolle, "An algorithm for total variation minimization and applications", Journal of Mathematical Imaging and Vision, vol.20, pp.89-97, 2004.

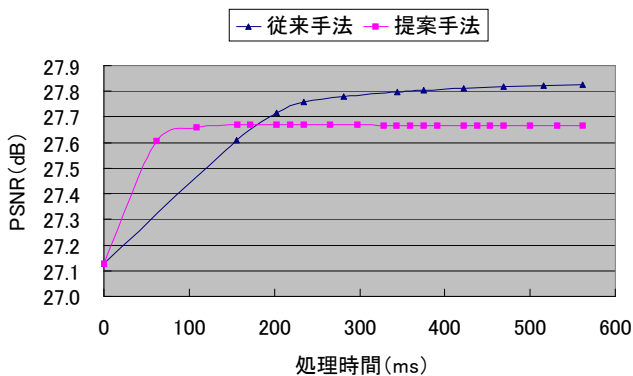
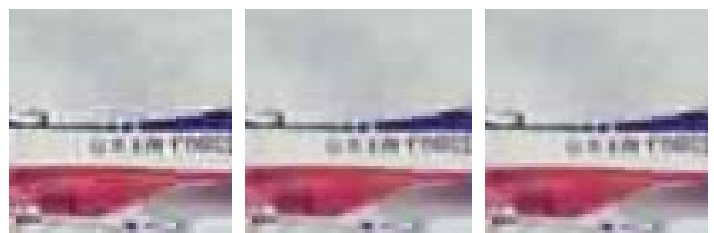


図 3 処理時間と PSNR の関係 (airplane)



(a) 雑音画像 (b) 提案手法 (c) 従来手法

図 4 雑音除去結果 (airplane 一部拡大)