

一様領域類似度に基づく局所適応拡張ジョイントバイラテラルフィルタを用いた色符号化歪低減

Color Compression Artifacts Reduction using Locally Adaptive Extended Joint Bilateral Filter based on Uniform Region Similarity Measure

和田 直史[†]
Naofumi Wada

松崎 博季[†]
Hiroki Matsuzaki

真田 博文[†]
Hirofumi Sanada

1. はじめに

動画ストリーミングは全世界のネットワークトラフィックの70%を占め、今後益々増加することが予想される。そのため、画像・映像を少ないデータ量で効率良く伝送する圧縮符号化技術が重要となる。圧縮符号化では、ノイズ(符号化歪)による画質低下がしばしば問題となる。代表的な符号化歪としてブロックノイズやモスキートノイズがある。また、色コントラストの高いエッジ付近ではカラーブリーディングと呼ばれる色符号化歪が発生する。カラーブリーディングの発生要因は、色差成分の“量子化誤差”と“ぼけ”である。一般的に、圧縮符号化では、画像を輝度(Y)と色差(Cb,Cr)で表し、色差を縦横1/2にしたYCbCr4:2:0フォーマットが使用される。そのため、ディスプレイ等に表示するには色差を縦横2倍に拡大する必要があり、色差の量子化誤差が拡大されてぼけることにより色がにじんだような歪として知覚される。

本研究の目的は、復号化後のポスト処理によって色符号化歪を低減することである。筆者らは、輝度と色差を参照画像とした畳込みフィルタ処理により色差のノイズ低減とボケ復元を同時に実現する拡張ジョイントバイラテラルフィルタを過去に提案した[1]。本手法は、番組テロップやセル画アニメなど色コントラストの高いエッジを含む人工画像において極めて高い画質改善効果を得ることができる。しかしながら、カメラで撮影した風景などの自然画像では逆にPSNRが低下する問題があった。本稿では、輝度-色差間の一様領域類似度に基づく画素単位のパラメータ自動制御を導入した“局所適応拡張ジョイントバイラテラルフィルタ”を新たに提案し、その有効性を実験により示す。

2. 拡張ジョイントバイラテラルフィルタ

入力する色差画像(CbまたはCr)を C 、 C にフィルタを適用した出力画像を $f[C]$ とすると、バイラテラルフィルタ(以下、BF)[2]は次式で表される。

$$f[C]_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in \Omega} G_{\sigma_s}(s_{p,q}) \cdot G_{\sigma_r}(r_{p,q}^C) \cdot C_q \quad (1)$$

ここで、 p はフィルタカーネル Ω の中心画素位置、 q は Ω 内の画素位置を示し、 C_q は q における色差画像の画素値を示している。また、 $s_{p,q}$ および $r_{p,q}^C$ は、それぞれ p, q 間の空間距離および画素値距離であり、 $G_{\sigma}(\cdot)$ は標準偏差 σ のガウシアンカーネルである。 W_p は重みの和が1となるように定める正規化係数である。BF

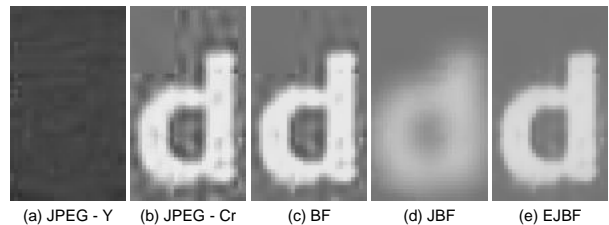


図1: EJBFの効果を示す画像

は、 p, q 間の画素値の差が大きくなるほど重みが小さくなるため、エッジを保存した平滑化が可能となる。

一方、YCbCr4:2:0では色差に対して輝度の解像度が高いことに着目すると、輝度の情報を使って色差のぼけを復元することが可能となる。ここでは、ジョイントバイラテラルフィルタ(以下、JBF)[3]を利用する。本研究におけるJBFの式は次のようになる。

$$f[C]_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in \Omega} G_{\sigma_s}(s_{p,q}) \cdot G_{\sigma_r}(r_{p,q}^Y) \cdot C_q \quad (2)$$

このように、輝度を参照画像として用いる(式(1)の $r_{p,q}^C$ を輝度の画素値距離 $r_{p,q}^Y$ とする)ことによって、色差よりも精細なディテールを保持する輝度の情報を反映させ、色差画像のぼけを復元することができる。しかしながら、式(2)のJBFでは、輝度にエッジがなく色差にエッジが存在する場合には色差のエッジを大きくぼかしてしまうという副作用が発生する。

そこで、筆者らは、次式のように輝度に加えて色差も参照画像として用いる拡張ジョイントバイラテラルフィルタ(以下、EJBF)を提案した[1]。

$$f[C]_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in \Omega} G_{\sigma_s}(s_{p,q}) \cdot G_{\sigma_r^Y}(r_{p,q}^Y) \cdot G_{\sigma_r^{Cb}}(r_{p,q}^{Cb}) \cdot G_{\sigma_r^{Cr}}(r_{p,q}^{Cr}) \cdot C_q \quad (3)$$

ここで、 σ_r^Y 、 σ_r^{Cb} 、 σ_r^{Cr} は、Y、Cb、Crそれぞれの画素値距離に関する重みの標準偏差を示している。

図1にEJBFの効果を示す。(a)、(b)はそれぞれJPEG画像のY成分およびCr成分をグレースケール表示した画像である。また、(b)に対しBF、JBF、EJBFを適用した結果をそれぞれ(c)、(d)、(e)に示している。(c)のBFではノイズが十分除去できておらず、(d)のJBFでは輝度にエッジがないため色差エッジがぼける副作用が発生している。それに対し、(e)のEJBFは、輝度が平坦な領域においても色差エッジを保存したまま、ノイズを除去することができている。

[†]北海道科学大学 工学部 情報工学科

3. 一様領域類似度に基づく局所適応化

EJBF は、色コントラストの高いエッジと平坦部で構成される人工的な画像において極めて高い効果を得ることができる。その一方で、カメラで撮影した自然画像では PSNR が低下する場合がありますが問題となっていた。一方、式 (3) のパラメータ σ_r^C を画像毎に変化させて PSNR を計測したところ、人工画像では σ_r^C を大きく、自然画像では小さくすることによって副作用を軽減可能なのことがわかった [1]。しかしながら、番組テロップなど自然画像中に人工的な文字が混在する映像も多くあることから、画面内で σ_r^C を適応的に制御する必要がある。

ここでは、輝度-色差間の類似度に着目した局所適応化手法を提案する。式 (3) より、画素 p と q の画素値の差が小さいほど重み係数が大きくなることから、重み係数は領域の“一様性”を表していると言える。人工画像ではエッジおよび平坦部が輝度と色差で同位置に出現する頻度が高く、一様領域の類似度が高くなる。それに対し、自然画像では色差には存在しないテクスチャが輝度に出現する頻度が高く、一様領域の類似度が低くなる。したがって、輝度と色差の一様領域類似度が高い場合は σ_r^C を大きくし、低い場合は σ_r^C を小さくすることによって、副作用を抑制可能であると考えられる。ここでは、一様領域類似度 S_p を次式のように輝度と色差の重み係数の差の二乗和で定義する。

$$S_p = \sum_{q \in \Omega} \{G_{\sigma_r^Y}(r_{p,q}^Y) - G_{\sigma_r^C}(r_{p,q}^C)\}^2 \quad (4)$$

また、フィルタを適用する全ての画素位置において S_p が最も小さくなるように σ_r を最適化する。

$$\hat{\sigma}_{r,p}^C = \arg \min S_p(\sigma_r^C) \quad (5)$$

これにより、新たに局所適応型拡張ジョイントバイラテラルフィルタ (以下、LA-EJBF) を次式のように表す。

$$f[C]_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in \Omega} G_{\sigma_s}(s_{p,q}) \cdot G_{\sigma_r^Y}(r_{p,q}^Y) \cdot G_{\hat{\sigma}_{r,p}^{Cb}}(r_{p,q}^{Cb}) \cdot G_{\hat{\sigma}_{r,p}^{Cr}}(r_{p,q}^{Cr}) \cdot C_q \quad (6)$$

ここで、 $\hat{\sigma}_{r,p}^{Cb}$ 、 $\hat{\sigma}_{r,p}^{Cr}$ はそれぞれ Y-Cb 間、Y-Cr 間の一様領域類似度に基づいて最適化された標準偏差を示している。 σ_s および σ_r^Y は固定とする。

4. 性能評価実験

以下の実験では、文献 [4] の 24 種類の 4:4:4 非圧縮画像を原画像として用いた。解像度は全て 768×512 画素である。これらの画像から 4:2:0 の JPEG 画像を作成した。画質評価値は PSNR を用い、4:2:0 の色差をアップスケーリングして 4:4:4 とし、色差画像の PSNR を算出した。また、文献 [4] の画像 (IMG) 全てに対し、文字を入れた画像 (IMG+TXT) を作成して実験に用いた。図 2 にその例を示す。比較手法は、BF、JBF、EJBF と、提案手法の LA-EJBF である。全ての手法でフィルタのカーネルサイズを 17×17 、 $\sigma_s = 4$ とし、BF



図 2: 実験画像

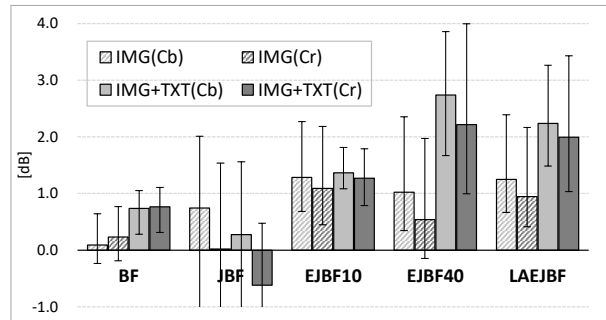


図 3: PSNR 改善値の比較

および JBF では $\sigma_r = 10$ 、EJBF および LA-EJBF では $\sigma_r^Y = 10$ とした。また、EJBF については $\sigma_r^C = 10$ (EJBF10) と $\sigma_r^C = 40$ (EJBF40) の 2 通りについて実験を行った。LA-EJBF の $\hat{\sigma}_r^C$ については 10, 20, 30, 40 から最適な値を選択した。

実験結果のグラフを図 3 に示す。縦軸の PSNR は JPEG 画像からの改善値を示している。また、24 画像における改善値の最大値、最小値も示した。人工的な文字を入れた IMG+TXT 画像では EJBF40、LA-EJBF がともに高い改善値を示しているが、EJBF40 は文字のない IMG 画像において改善値がマイナスとなっている画像がある。それに対し、LA-EJBF は全ての画像で PSNR が改善している。

5. おわりに

本研究の目的は、圧縮符号化された画像の色符号化歪を低減することである。筆者らが過去に提案した拡張ジョイントバイラテラルフィルタは自然画像で PSNR が低下するという問題があった。これに対し、輝度-色差間の“一様領域類似度”に基づいて画素単位でパラメータを制御する局所適応拡張ジョイントバイラテラルフィルタを新たに提案し、自然画像でも副作用なく PSNR を向上させることを示した。

参考文献

- [1] N. Wada et al., “Extended Joint Bilateral Filter for the Reduction of Color Bleeding in Compressed Image and Video,” ITE Trans. on MTA, pp. 95-106, Jan. 2015.
- [2] C. Tomasi and R. Manduchi, “Bilateral filtering for gray and color images,” IEEE ICCV, pp. 839-846, Jan. 1998.
- [3] G. Petschnigg et al., “Digital photography with flash and no-flash image pairs,” ACM Trans. on Graphics, 23, 3, pp. 664-672, Aug. 2004.
- [4] Kodak Lossless True Color Image Suite, <http://r0k.us/graphics/kodak/>