

画像強調を用いた超解像手法

Super-Resolution technique utilizing image enhancement

後藤 恭平[†] 後藤 富朗[†] 平野 智[†] 桜井 優[†]
 Kyohei Goto Tomio Goto Satoshi Hirano Masaru Sakurai

1. はじめに

近年、低解像度画像を高解像度化する超解像技術が盛んに研究されている。その多くは再構成型超解像か学習型超解像に分類されるが、再構成型超解像では最適解への繰り返し収束演算、学習型超解像ではアップサンプリングの学習に多くの時間を要するため、動画をリアルタイムに超解像処理することは困難である。

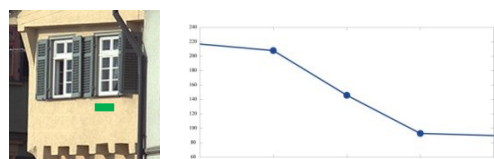
そこで先行研究において 3 つの非線形フィルタを駆使した超解像手法を提案した[1]。そのシステムでは P.D.E (Partial Differential Equation) などの単純な処理のみを用いており、FPGA などに実装することで、動画をリアルタイムに超解像処理することは十分に可能であると考えられる。

その手法において、アップサンプリングの際の画素値の補間処理により、なまったエッジを鮮鋭化する Shock Filter [2] はその効果が著しい反面、画像によっては様々な画質劣化を引き起こしてきた。そこで本稿では、入力画像が保有する理想的なエッジ構造に着目し、その問題を解決する。

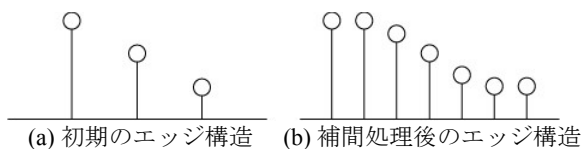
2. 提案手法

図 1 は、アップサンプリング前の入力画像とそれが保有するエッジ信号を一次元的に示したものである。図 1(b)に示すように、初期の理想的なエッジは 3 ピクセルで構成されていることが分かる。

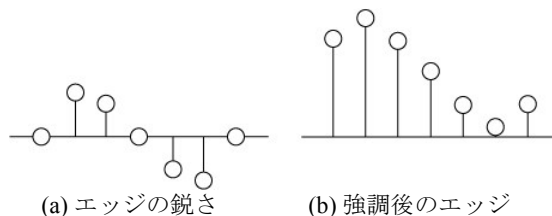
しかし、この構造は、図 2 に示すようなアップサンプリングの際の画素値の補間処理により崩壊する。サンプリングレートが 2 の場合、3 ピクセルで構成されていたエッジは 5 ピクセルで構成されることになる。このように崩壊したエッジ構造は画像にぼけを生む。この問題を解決するために、二つの著名な画像強調フィルタを応用することで、初期の理想的なエッジ構造を再起させ、ぼけを取り除く。



(a) 高解像度画像 (b) エッジ構造(緑線上)
 図 1 高解像度画像と理想的なエッジ構造



(a) 初期のエッジ構造 (b) 補間処理後のエッジ構造
 図 2 理想的なエッジ構造の崩壊



(a) エッジの鋭さ (b) 強調後のエッジ
 図 3 Unsharp Mask Filter の処理例

2.1 Unsharp Mask Filter

Unsharp Mask Filter [3] の特性を述べる。図 3 はこの処理例を一次元的に示したモデルである。このフィルタはまず、式 (1) に示す処理により補間後のぼけたエッジがわずかに持つ鋭さを測定する。そして式 (2) に示すように入力信号 x にその鋭さを供給する。つまりこの処理はエッジに残る鋭さを強調するものである。それは、新たな鋭さを生み出すことを意味せず、強調後のエッジ構造に変化を起ささない。5 ピクセルでのエッジ構造はそのままであり、エッジの勾配のみ急峻になる。またこの処理では、エッジの端点での沈み込み、オーバーシュートであるリングング現象を生む。これはエッジの端点において鋭さが大きく測定され、それが加算されるためである。

$$\text{sharpness} = u - u * f_{lpf} \quad (1)$$

$$u = u + \text{sharpness} \times \mu \quad (2)$$

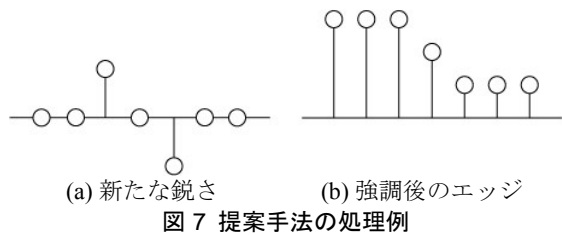
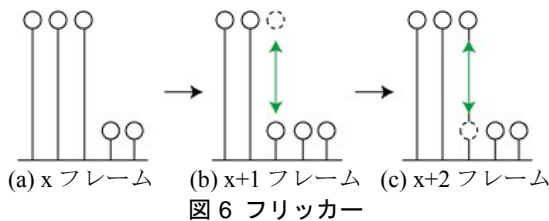
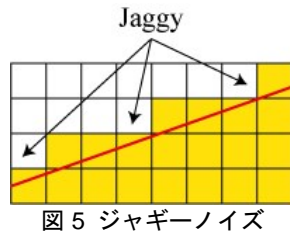
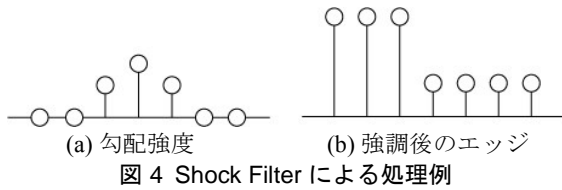
2.2 Shock Filter

次に Shock Filter の特性を述べる。このフィルタはエッジ構造を大きく再構成することができる。式 (3)、図 4 に処理例を示す。まずエッジ信号の一階微分値を導出する。これによりエッジの傾きの程度(勾配強度) $|\nabla u|$ を得る。この値は、補間後のエッジの中央において最大値を取り、端点では微小値を取る。このような特性の値をその更なる微分計算により得られる符号と共に原信号 x に供給する。このような処理によりエッジの端点を刺激することなく、中央点のみを大きく動かし、2 ピクセルでエッジを構成させる。そのような構造から成るエッジは強烈な鮮鋭感を生む一方で、様々な画質劣化を生む。

$$u = u - \text{sign}(\nabla \cdot \nabla u) |\nabla u| \times dt \quad (3)$$

そのようなエッジはピクセルマップ上で滑らかな斜めの線を描くことができず、図 5 に示すように、どこかで「ジャギー」を描画する必要がある。また、エッジのちらつきであるフリッカーが動画再生中に発生することがある。これは図 6 に示すようにエッジの中点の輝度があるフレームの前後で大きく変化するためである。

[†] 名古屋工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻



2.3 提案手法

理想的なエッジ構造を再起するために、まず式 (4) に示すように、前述した 2 つの処理において導出された値を乗算する。Unsharp Mask で測定される鋭さはエッジの中央になるにつれ最小の値となる特性を持つ。また Shock Filter 処理において導出する勾配強度はエッジの端点において最小の値を取る特性であった。したがって、これら二つの値の積により得られる新たな値は、補間点上でのみ値を取る。式 (5) のようにこの値を原信号に供給することで、補間点のみを動かして理想的なエッジ構造を復元する。図 7 に処理例を示す。

$$new_sharpness = (u - u * f_{lpf}) \times |\nabla u| \quad (4)$$

$$u = u + new_sharpness \times \gamma \quad (5)$$

3. 実験結果

図 8 に超解像処理した実験結果を示す。(a) が Bicubic、(b) がエッジ強調に Unsharp mask を、(c) がエッジ強調に Shpck Filter を、(d) がエッジ強調に提案手法を用いて 2 倍拡大を行った画像である。図 8 より、(a) ではエッジのぼけが、(b) ではリングング現象が、(c) ではジャギーノイズが発生しており、画質劣化が起きているのに対し、(d) では画質劣化はなく自然で鮮鋭感のある画像となった。

また、図 9 は図 8 内のエッジ部分を 1 次元信号で示したものである。提案手法は理想的なエッジ構造を再構成できていることが確認できる。以上より、提案手法の有効性を示した。

4. むすび

初期の理想的なエッジ構造を破綻させることで鮮鋭感のある画像を生成できる Shock Filter は様々な画質劣化を生んでいた。そこで提案手法は初期のエッジ構造を再起させることで、画像を自然に鮮鋭化し、画質劣化を抑えた。また本手法は多くの計算を必要としないため、FPGA に実装することで動画像をリアルタイムに超解像処理することが可能である。

参考文献

- [1] K. Goto, F. Nagashima, T. Goto, S. Hirano, and M. Sakurai, "Super-Resolution for High-Resolution Displays", IEEE Global Conference on Consumer Electronics, pp. 309 – 310, 2014.
- [2] L. Alvarez and L. Mazorra, "Signal and image restoration using shock filters and anisotropic diffusion", SIAM Journal on Numerical Analysis, Vol. 31, No. 2, pp.590 – 605, 1994.
- [3] A. Acharya and S. Meher, "Region Adaptive Unsharp Masking Based Lanczos-3 Interpolation for video Intra Frame Up-sampling", Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST), pp. 57 – 62, 2012.

