

超解像と誤差帰還を用いた電子ズームの構成方法 Architecture of Electric Zooming with Super Resolution and Error Feedback

菅原 佑貴[†] 土川 健斗[†] 黒木 修隆[†] 廣瀬 哲也[†] 沼 昌宏[†]
Yuki Sugahara Kento Tsucnikawa Nobutaka Kuroki Tetsuya Hirose Masahiro Numa

1. はじめに

近年、多くのデジタルカメラに電子ズームが搭載され、より高品質な拡大処理が求められている。拡大処理は一般的に Nearest-Neighbor 法や Bi-Cubic 法などの補間法を用いるが、ジャギーやボケの発生が問題となる。これに対し本稿では、画像の劣化が少ない高解像度化技術として事例参照型超解像に注目した[1]。事例参照型超解像は、補間法で復元できないエッジ部やテクスチャ部などの細部を予め学習したデータベース（辞書）を参照することで推定・復元する手法である。我々はすでに、低倍率の事例参照型超解像を多段接続し階層的に処理を行うことで、10倍を超える高倍率な解像度変換を実現した[2]。本稿では、既存技術に対し、拡大時に生じる誤差信号を補正する誤差帰還構造を採用することで、より高品質な画像が生成されることを確認したので報告する。

2. 事例参照型超解像による電子ズームの構成

2.1 幾何学図形を用いた超解像

事例参照型超解像は学習段階と超解像段階の2段階で構成されている。学習段階では、低解像度パッチとそれに対応する高解像度パッチをペアとして辞書を作成する。超解像段階では、低解像度の入力画像から取り出したパッチと類似するパッチを辞書内から探索し、対応する高解像度パッチを貼り付けることで高解像度画像を得る。

生成される超解像画像の画質は辞書内のパッチに依存するため、辞書内のパッチ数が多いほど画質の向上が期待できるが、辞書容量の増加やパッチの誤選択によるノイズの発生が問題となる。これらの問題に対し、汎用性の高いパッチのみを学習した効率的な辞書として円画像を学習用画像とした二分木辞書が提案されている[3][4]。円画像を用いることで、あらゆる方向の直線成分を効率よく学習することができ、辞書容量やノイズを削減しながら画質を向上させることができる。また、円画像に加え、Circular Zone Plate (CZP)を学習することで、グラデーション部や緩やかなエッジ部に対しても高精度な補間を行えることが確認された。

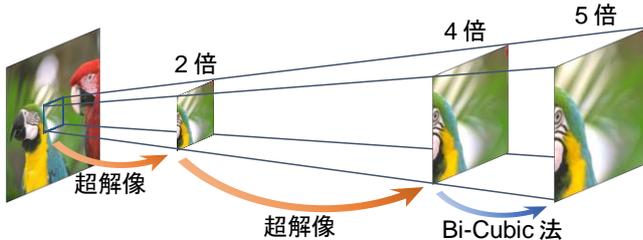


図1 低倍率拡大の多段接続による電子ズーム (5倍拡大)

[†] 神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻, 神戸市 Graduate School of Electrical and Electronic Engineering, Kobe University, Japan

2.2 低倍率拡大の階層処理

電子ズームなど任意倍率拡大が求められるアプリケーションにおいて事例参照型超解像を用いる場合、辞書容量の大きさが問題となる。事例参照型超解像では拡大倍率ごとに辞書が必要となり、各辞書の容量は拡大倍率の大きさに比例するため、任意拡大倍率を実現するためにすべての辞書を保持すると辞書容量が膨大となる。この問題に対し、我々は低倍率拡大の多段接続と補間法を組み合わせた任意倍率拡大手法による電子ズームを提案した[2]。図1に概念図を示す。これは指定倍率に対して限界まで2倍超解像拡大を繰り返し、Bi-Cubic法で指定倍率まで拡大することで高周波成分を補間しながら高倍率拡大画像を生成する手法である。この手法により保持する辞書は2倍拡大用の辞書のみとなるため、低辞書容量で高品質な任意倍率拡大を行うことができる。

2.3 誤差帰還構造による高精細化

2.1節で述べたように、学習用画像に幾何学図形を用いると曲線や緩やかなエッジ部に対して高精細な拡大が行える。しかし、不規則な成分のパッチが不十分なことからテクスチャ部の補間は難しい。この問題に対しては、超解像段階に補間できなかった高周波成分を抽出し、再度補間を行う誤差帰還構造[5]が有効だと考えられる。

誤差帰還の流れを図2に示す。超解像画像 $SR^{(0)}$ を入力画像と同じサイズまで縮小し PL とする。その後 PL と入力画像との差分画像 RL を生成する。 RL は超解像段階で失われた高周波成分を多く含む画像である。 RL を指定倍率まで Bi-Cubic 法で拡大した画像 RH と $SR^{(0)}$ と足し合わせることで、高周波成分を補間した高精細な画像 $SR^{(1)}$ が得られる。

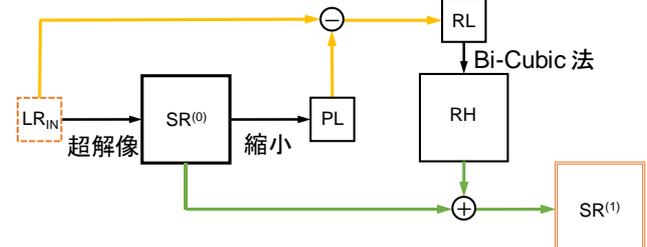


図2 誤差帰還構造の概念図

3. 評価実験と考察

3.1 誤差帰還構造の評価

誤差帰還構造の評価を行うため、 512×512 , 768×512 pixel サイズ計 12 枚の評価用画像を用いて画質および処理速度を評価した。評価用画像を $1/4$ 倍縮小して入力画像とし、2倍 \times 2段超解像による4倍拡大後、誤差帰還の有無による PSNR および処理速度の変化を確認した。超解像における辞書は学習用画像に円および CZP を用い、パッチサイズを 4×4 pixel とした。

PSNR および処理速度の測定結果を表 1, 2 にそれぞれ示す。処理速度は単位時間あたりに出力される画素数である。表 1 に示すように、誤差帰還構造を実装することで超解像のみを行った場合に対して平均 0.13 dB 程度 PSNR の改善が見られた。誤差帰還により超解像で補間できなかった高周波成分を推定・復元できたためと考えられる。主観的に見てもエッジ部やテクスチャ部で鮮鋭感の向上が確認できた。また表 2 より、誤差帰還を行ったとき処理速度は超解像のみと比較して約 40% 低下している。誤差帰還構造による処理時間増加が原因であるが、誤差成分の拡大は Bi-Cubic 法により行っているため、拡大倍率を高くしても比較的高速な処理が行えると考えられる。

3.2 誤差帰還を含む超解像を用いた高倍率拡大

2 章に述べた手法を用いて電子ズームを構成した場合の処理速度を測定し、画質の主観的評価を行った。FHD 画像 (1920×1080 pixel) から拡大後の表示領域のみをトリミングし、 2^n ($n=1\sim6$) 倍拡大を行った。

表 1 誤差帰還の画質評価

PSNR [dB]	Bi-Cubic 法	事例参照型超解像	
		誤差帰還なし	誤差帰還あり
平均	26.88	27.48	27.61

表 2 誤差帰還の処理速度評価

処理速度 [Kpixel/s]	Bi-Cubic 法	事例参照型超解像	
		誤差帰還なし	誤差帰還あり
平均	8602	1940	1188

表 3 電子ズーム構成時の処理速度

処理速度 [Kpixel/s]	×2	×4	×8	×16	×32	×64
平均	1081	1157	1307	1379	1509	1551

処理速度の測定結果を表 3 に示す。表示領域のみを処理しているため、高倍率拡大でも高速な動作が可能である。拡大倍率が高くなる毎に処理速度が上昇しているが、超解像段階において、パッチ探索の必要があるエッジ部やテクスチャ領域が減少し、探索時間が削減されたためと考えられる。図 3 は 16 倍拡大を行った画像の一部である。エッジの鮮鋭感を保ちながら拡大を行っていることがわかる。また、誤差帰還により高周波成分が増加したことでより質感の高い画像が生成されている。

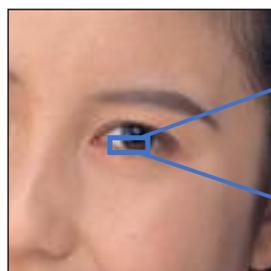
以上から、事例参照型超解像と誤差帰還を用いて高速かつ高精細な高倍率電子ズームを構成可能であると言える。

4. まとめ

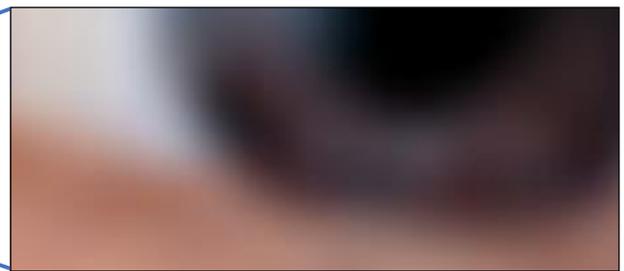
本稿では、事例参照型超解像と誤差帰還を用いた電子ズームの構成方法を述べ、評価を行った。誤差帰還により事例参照型超解像のみを用いた場合よりも高精細な拡大が可能であることを確認した。また、電子ズームに誤差帰還を導入し、高速かつ高精細な高倍率電子ズームの構成が可能であることを示した。今後は更なる高精細化に向けて研究を行う予定である。

参考文献

- [1] W. Freeman, E. Pasztor, and O. Carmichael, "Learning low-level vision", *International Journal of Computer Vision*, vol. 40, no. 1, pp. 25-47, (2000).
- [2] 菅原佑貴, 橋本明信, 黒木修隆, 廣瀬哲也, 沼昌宏, "階層的超解像による電子ズームの構成方法", 第 11 回情報科学技術フォーラム (FIT2012), I-11, (2012).
- [3] 橋本明信, 中矢知宏, 黒木修隆, 廣瀬哲也, 沼昌宏, "学習型超解像のための効率的な辞書", 電子情報通信学会 画像工学研究会, Vol. 111, no. 284, pp 35-40, (2011).
- [4] 橋本明信, 中矢知宏, 黒木修隆, 廣瀬哲也, 沼昌宏, "学習型超解像のための二分木辞書", 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J96-D, no. 2, pp 357-361, (2013).
- [5] Z. Xiong, X. Sun, and F. Wu, "Image Hallucination with Feature Enhancement", *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009, p.2074-2081, (2009).



(a) 入力画像



(b) Bi-Cubic 法



(c) 事例参照型超解像のみ



(d) 事例参照型超解像+誤差帰還

図 3 電子ズームによる高倍率拡大画像の一部 (16 倍)