日大生產工(院) 〇坂本 雄志 日大生産工 目黒 光彦

1 まえがき

ディジタルカメラで撮影する際に、日常の撮 影の他、特に光量不足における撮影により、画 像にガウシアンノイズの加法により劣化して しまう問題がある.劣化画像からのデノイジン グの手法として、局所回帰による復元方法が提 案されている[1]. 局所回帰では局所領域内で の画像信号の模様とその幅を正確に測定する ことで、精度の高い復元が期待される. Takeda氏らによって提案されているステアリ ングカーネル回帰手法は、反復処理を用いるこ とで局所領域内の模様に沿うようにカーネル を設定することで模様の方向と幅を測定して いる.

本研究では、異なる反復回数により得られ る複数の処理済み画像を用い、画素毎の特徴か ら適切な出力を複数の処理済み画像から選択 することで復元を行う手法を提案する.これ は画素毎の特徴ごとに、適した出力を求める反 復回数が異なることによる.画素の特徴とし て平たんな領域やエッジが存在する.平たん な領域では反復回数の多い処理結果を割り当 て、エッジ等の詳細な信号成分では、反復関数 の少ない処理結果を割り当てることで、平たん 部では雑音除去を優先させ、エッジ等の詳細な 領域で信号保存を優先させた処理を実現した.

- 2 既存の手法
- 2.1 古典的回帰

画素毎に局所領域のデータにより回帰を行う. 古典的回帰では局所領域の取り方は処理点毎 でも不変となっており一定の範囲のデータに より回帰を行っている.回帰は,先に設定した モデルの未知の係数を最小二乗法を用いて求 めることにより,原信号の復元を行うものであ る.最小二乗法は,以下の誤差式

$$E = \sum_{i=1}^{N} \left[y_i - \sum_{k=0}^{M} a_k f_k(x_i) \right]^2, \quad (1)$$

を最小にする係数を求めることであり、
$$\min_{\{\beta_0\}}\sum_{i=1}^{P}[y_i-\beta_0-oldsymbol{\beta}_1(x_i-x)]$$

$$-\boldsymbol{\beta}_{2}(\boldsymbol{x}_{i}-\boldsymbol{x})^{2}]^{2}\frac{1}{h}K\left(\frac{\boldsymbol{x}_{i}-\boldsymbol{x}}{h}\right) (2)$$

となる. ここでβは未知の係数ベクトルとする. 式(2)中にある

$$\frac{1}{h}K\left(\frac{x_i-x}{h}\right) (3)$$

は局所領域の範囲と重みを決定するカーネル である.古典的回帰では、ガウシアンカーネル やバイラテラルカーネルが用いられ、注目画素 からの距離や輝度の差にのみ依存したカーネ ルが使われている.



図1. 劣化画像



図2.古典的回帰結果

Reconstruction of Images Degraded by Additive Noise Using Regression of Local Data Yuji Sakamoto and Mitsuhiko Meguro

2-47

図1に,標準偏差15のガウシアンノイズで劣化 した画像を示す.MSEは203.11である.図2に, 古典的回帰により復元した画像を示す.MSE は105.21となっている.数値的には多少良く なってはいるがほとんど差がなく良い結果と は言えない.しかし,精度の高い回帰を実現す るには模様と幅を正確に測定する必要がある.

2.2 ステアリングカーネル

ステアリングカーネルは、画像の模様(方向成 分)を加味することで適切なパラメータを求め る手法である.劣化画像を微分して得られた 値を用い模様を推定する.図3に、微分して得 られた値を視覚的に見やすくした画像を示す. 画像(a)が縦方向に偏微分、画像(b)が横方向に 偏微分したものである.



(a)縦方向 (b)横方向 図3.偏微分画像

ステアリングカーネルでは図3の偏微分画像を 用いて設計を行う.図4は劣化画像の縦エッジ の部分を四角い線で切り取ったものである. その画素の偏微分値画像を図5に示す.



図4.劣化画像の縦方向エッジ



(a)縦方向(b)横方向図5.縦エッジの偏微分値

図5は画像(a)が縦方向に偏微分したもので,画像(b)が横方向の偏微分画像となっている.縦のエッジでは横方向の微分値が大きな値となり,縦方向の偏微分値は小さくなっていることが分かる.各方向の偏微分値の分布を見ることで方向を調べることができる.そのため特異値分解をして主成分を求める.得られた2つの固有ベクトルの向きが方向となる.それぞれの固有ベクトルの固有値は285.85,84.2となっている.従って画像の幅はベクトル方向に対して285.85:84.2になる.そのため2本のベクトルの固有値が0に近いとき平坦となっており,0から遠いが固有値が近い場合は細部となっている.2本の固有値の値が大きく離れている場合はエッジ部となることが分かる.

ステアリングカーネルでは、得られた復元画 像に対して再度ステアリングカーネル回帰を 行う. つまり反復処理を行い、偏微分値を0 に近づけていくことで復元を行う.反復処理 に伴うMSEの変化を表したグラフを図6に示 す.図7の縦軸はMSEとなっており、横軸は反 復回数となっている.



図6.反復処理に伴うMSEの変化

図6より、反復回数5のときのMSEが最小であることが分かる.図7に反復回数5の結果を示す.



(a)復元画像(b)拡大画像図7.反復回数5の結果画像と平たん拡大

図7の復元画像のMSEは38.56であった.画像の平たん部分をみると、少し凸凹しており滑らかでない部分が存在する.反復回数が少ない場合、信号を保持する働きの方が強く、平たんが滑らかにならない.そのため、反復回数を増やすことで平たん領域を滑らかにすることができる.図8に、反復回数8の復元画像を示す.



(a)復元画像 (b)拡大画像 図8.反復回数8の結果画像と平たん拡大

図8の復元画像はMSEが43.32と図7と比べる と数値的には悪化しているものの,平たん領域 は滑らかな処理が実現されていることが分か る.

2.3 問題点

ステアリングカーネル回帰では、反復処理を行 うことで偏微分値を0に近づけているため、見 た目の滑らかさが増し綺麗に見える.しかし ながら、細部やエッジ部はボケが発生してしま うため、 MSEは悪くなってしまう.そのため 見た目の良さとMSEとの対応が取れていない ことが分かる. MSEを良い結果にしようと反 復回数を少なくしてしまうと平たん部におけ る平滑処理が足りなくなるため、主観的には 改善が不十分となる.

3 提案手法

ステアリングカーネルは反復処理を用いて復 元を行っている.そのため,細部やエッジ部, 平坦部における最適な反復回数が違うため,数 値的にも主観的にも良い結果とならない.従 って,本研究では,反復処理で得られた複数の 画像から,画素毎に適した画像を複数の処理済 み画像から選択することにより,復元精度を向 上させる.式(4)で得られるK値を画素の特徴 として求める.K値は0~1の値を取り,0に近い ほど平たん,1に近いほど細部となる.bは5× 5の窓サイズ内での局所分散とする.

$$K = \frac{\max(lv - \sigma^2, 0)}{(\max(lv - \sigma^2, 0) + \sigma^2)}$$
(4)

式(4)より得られた画像を図9に示す. 図9の 画像は0~1の値を画像として見やすくしたも のであり,0に近いほど黒,1に近いほど白と なる.つまり,黒い箇所は平坦,白い箇所は エッジ部となる.図10にはKの値ごとの画 像を示す.白画素が該当画素となる.



図 9. K値



図 10. 各 K 値の該当画素

K値が小さい左上の画素は平坦部,右上は 細部,左下は細部または弱エッジ,右下を強 エッジとして扱う.Kの値が小さい画素は反 復回数を多く,大きい画素は反復回数を少な くする.

4 適用例

K値を図10のように4つに分け,1回ずつ反復回 数を増やして結果をみる.最低反復回数に対 してのMSEを図11に示す. 図11を見ると最低反復回数5回,つまりK値が 0.9~1.0の画素に対して5回反復処理を行った 結果が最良となっている.図12に従来手法の 最良結果,図13に最良結果の画像を示す.



図11.0.9<K≦1.0の反復回数におけるMSE



図12. 従来手法における最良結果



図13. 提案手法における最良結果

結果を見比べると平たん領域が滑らかになっている分,全体的に綺麗に見えることが分か

る. MSEは従来手法が38.56, 提案手法は 38.40となっている. そのためMSEを劣化させ ることなく見た目の滑らかさを向上すること ができた. 最小反復回数が5回のとき最良の結 果となったのは,反復回数が少ないと平滑化 が弱く,平坦が滑らかでない画像を使用して しまうためである. そのため今回の実験では, 最小反復回数4,5回のとき良い結果となった.

5 まとめ

Takeda氏らのステアリングカーネル回帰では、 画素毎の最適な反復回数が決まっていない. そのため、MSEが良いところで反復回数を止 めたとしても処理の適切な画素とかえって劣 化した画素ができてしまう.そのため、最良の 結果とはいえない.そこで本研究では、ステア リングカーネル回帰の画素毎の最適な反復回 数を求め、それに応じた復元処理を行った.よ って、画素毎の特徴を表すK値を求め、Kの値に よって画素毎に、適した反復回数による出力に 切り替えた.その結果、従来手法の問題点であ った、最良のMSEでは見た目が良くならない という問題を解決することができた.提案手 法の結果ではMSE値を変化させることなく、 主観評価を向上させた.

今後の課題として、本研究の提案手法では、 K値のみにより、視覚的に細部~エッジ部を割 り振ったため、割り振りが正確でない画素も 含まれていると考えられる.従って、最適化手 法によった割り振りにより、さらなる客観、主 観的な処理性能向上を、今後の課題とする.

参考文献

- Hiroyuki Takeda, "Locally Adaptive Kernel Regression Methods for Multi-Dimensional Signal Processing", Doctoral Dissertation, September 2010.
- Hiroyuki Takeda, Sina Farsiu, Peyman Milanfar, "Kernel Regression for Image Processing and Reconstruction", IEEE *Transactions on Image Prpocessing*, VOL.16, NO.2, .pp.349-366. 2007.
- Payman Milanfar, "A Tour of Modern Image Filtering" IEEE Signal Processing Magazine pp.106-128 January 2013.