

J-049

連立非線形拡散時間発展方程式による動きボケの除去

Motion De-blur by the Simultaneous Non-linear Diffusion Time Evolution

原田 寛之

齊藤 隆弘

小松 隆

Hiroyuki Harada

Takahiro Saito

Takashi Komatsu

1. はじめに

鮮鋭度改善法は、様々な要因でボケ劣化した画像を鮮鋭化する手法である。この手法としては、ピーキング法が知られているが、この手法はランダムな雑音に加わっている場合、ランダム雑音も強調してしまう。本研究では、非線形フィルタを入力画像に繰り返し適用することでランダム雑音を除去し、エッジの強調を行う過程で、異なるエネルギー汎関数、また離散化法を組み合わせ最適な組み合わせを考える。

また、入力画像をある一方向への動きをもつ動きボケ画像とし、動きボケ対策用に改良した非線形フィルタと、従来の非線形フィルタとの鮮鋭化の違いについての実験を記述する。

2. 非線形拡散方程式

非線形拡散方程式は次式のように定義される。

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \text{div} [c(\|\nabla f\|) \cdot \nabla f], \quad c(\|\nabla f\|) = \frac{1}{1 + \|\nabla f\|^k} \quad (1)$$

この式では、エッジなどの隣接する画素の輝度差が大きいところでは、 $\|\nabla f\|$ の値が大きくなり $C(\|\nabla f\|)$ が0に近づくので拡散が抑えられる。また、平坦な所などの画素の輝度差が小さいところでは、 $\|\nabla f\|$ の値が小さくなり $C(\|\nabla f\|)$ が1に近づき事で拡散が抑えられる。

3. 2次の非線形等法方程式

本研究では2つのエネルギーモデルについて考える。

(1) 薄板たわみモデル

$$\tilde{\varepsilon}[f] = \iint_D \left[(f_{xx} + f_{yy})^2 + \frac{\sigma^2}{2} (f - g)^2 \right] dx dy \quad (2)$$

(2) Total Variation モデル

$$\tilde{\varepsilon}[f] = \iint_D \left[\sqrt{f_{xx}^2 + f_{yy}^2} + \frac{\sigma^2}{2} (f - g)^2 \right] dx dy \quad (3)$$

これらのエネルギー汎関数の値を最小とするを求める。ここで、式(2)の第一項、また式(3)の第一項は滑らかさの定義を表している。また、式(2)、(3)の第二項では、拡散の停止制御を行う。原稿では、(2)式に補助関数を用いて薄板たわみモデルを書き直す、ここで、補助関数を用いたことで、(2)式との誤差を考慮した項を導入し、そのエネルギー汎関数を最小とする連立偏微分オイラー方程式を求める。その方程式は、線形拡散項、オーバーシュート項、反作用項をもつ式となるので、線形拡散項に非等方性拡散項を導入し近傍4画素を用いる4点法で離散化し、差分形式で表すと、

$$\begin{aligned} f_{i,j}^{\tau+1} &= f_{i,j}^{\tau} + \varepsilon \cdot \left[\sum_{d=N,S,E,W} \left\{ C(\|\nabla_d f_{i,j}^{\tau}\|) \cdot f_{i,j}^{\tau} \right\} \right. \\ &\quad \left. - \frac{\sigma^2}{2} \left\{ (u_{i+1,j}^{\tau+1} - u_{i-1,j}^{\tau+1}) + (v_{i,j+1}^{\tau+1} - v_{i,j-1}^{\tau+1}) \right\} - \frac{\sigma^2}{2\lambda} (f_{i,j}^{\tau} - g_{i,j}) \right] \\ u_{i,j}^{\tau+1} &= u_{i,j}^{\tau} + \frac{\varepsilon}{\lambda} \cdot \sum_{d=N,S,E,W} \left\{ C(\|\nabla_d u_{i,j}^{\tau}\|) \cdot u_{i,j}^{\tau} \right\} \\ &\quad - \varepsilon \cdot \left\{ u_{i,j}^{\tau} - \frac{1}{2} (f_{i+1,j}^{\tau} - f_{i-1,j}^{\tau}) \right\} \\ v_{i,j}^{\tau+1} &= v_{i,j}^{\tau} + \frac{\varepsilon}{\lambda} \cdot \sum_{d=N,S,E,W} \left\{ C(\|\nabla_d v_{i,j}^{\tau}\|) \cdot v_{i,j}^{\tau} \right\} \\ &\quad - \varepsilon \cdot \left\{ v_{i,j}^{\tau} - \frac{1}{2} (f_{i,j+1}^{\tau} - f_{i,j-1}^{\tau}) \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

となる。これらの非線形処理を入力画像に繰り返し適用することで画像を鮮鋭化する。

4. 4点法と8点法

本研究では離散化法として上記の4点法に加え、近傍8画素を用いた8点法についても検討を加えた。8点法では、近傍4点間の差分に加え、それぞれの垂直方向の差分候補を2つ選び、その2つの差分の大きさを符号化関数により判定し、垂直方向の差分の値が小さい値をもうひとつの差分として適用する。4点法と8点法とを実験にて比較している。

5. 動きボケへの適応方法

原画像に、ある一方向だけにガウスボケを加えた、動きボケの入力画像の鮮鋭化について検討を加えた。動きボケを鮮鋭化は式(4)の変更により実現する。式(4)の従来の更新式の第一式、第二項のオーバーシュート項に回転行列を用いて書き直す

$$\begin{aligned} f_{i,j}^{\tau+1} &= f_{i,j}^{\tau} + \varepsilon \cdot \left[\sum_{d=N,S,E,E} \left\{ C(\|\nabla_d f_{i,j}^{\tau}\|) \cdot f_{i,j}^{\tau} \right\} \right. \\ &\quad - \frac{\sigma^2}{2} \left\{ \cos \theta \cos \theta (u_{i+1,j}^{\tau+1} - u_{i-1,j}^{\tau+1}) \right. \\ &\quad \left. + \sin \theta \cos \theta \left\{ (u_{i,j+1}^{\tau+1} - u_{i,j-1}^{\tau+1}) + (v_{i+1,j}^{\tau+1} - v_{i-1,j}^{\tau+1}) \right\} \right. \\ &\quad \left. + \sin \theta \sin \theta (v_{i,j+1}^{\tau+1} - v_{i,j-1}^{\tau+1}) \right\} - \frac{\sigma^2}{2\lambda} (f_{i,j}^{\tau} - g_{i,j}) \left. \right] \end{aligned} \quad (5)$$

となる。式(5)の に動きボケの方向を指定することにより意図する方向のみにピーキングをかけることが可能となり、従来の鮮鋭化法より有効な結果が求められる。

また、式(5)と同様に、Total Variation の場合の連立非線形拡散時間発展方程式の第1式、第2項のオーバーシューティング項にも同様の変換を行う。

6. 実験方法と結果

6.1 薄板たわみモデル、Total Variation と4点法、8点法の比較

原画像にガウスボケとガウス性ノイズを付加して人工的なテスト画像を生成し、この画像を入力画像として処理を行う。本実験では、薄板たわみモデルとTotal Variationモデル、4点法と8点法の組み合わせの計4種類の非線形処理について、 s (シューティングパラメータ)の値、更新速度の α の値を変え、これらのパラメータの最適設定について検討した。図3の画像は薄板たわみモデルの4点法で鮮鋭化した画像を示した。また図4に原画像に対する、SN比(SN)、ボケ除去度(Br)、雑音除去度(Nr)、アーティファクト比(Ar)を示した。

s の値が大きすぎると、雑音が除去されず、鮮鋭化だけがなされる。逆に s の値が小さすぎると雑音はある程度除去されるが、鮮鋭化はなされない。パラメータ s は、薄板たわみモデルの場合は0.01 ~ 1.0、Total Variationモデルでは、0.25 ~ 0.45の範囲で良い鮮鋭化結果が得られた。

6.2 動きボケ入力画像に対する比較

一定方向のガウスボケを水平方向を0度方向として反時計回りに、45度方向、90度方向、135度方向と4方向の画像を用意し、ガウス性ノイズを付加して、人工的なテスト画像を入力画像として更新をする。本実験では薄板たわみモデルの4点法、8点法。また、Total Variationモデルの4点法、8点法。さらに、動きボケ対策をしていない薄板たわみモデルの4点法の計5種類を用いて動きボケの角度を入力し、入力画像を更新させ、鮮鋭化の実験を行った。6.2の実験においても s 、 α の値を変え最適の設定法を検討した。図5の画像は、0度方向に動きボケを付加したテスト画像を示した。また、図6に動きボケ用に書き直した薄板たわみモデルの4点法で鮮鋭化した画像を示した。図7は、0度方向の動きボケ画像における、改良した薄板たわみモデルの4点法の原画像に対するSN、Br、Nr、Arを示した。また、図8は、0度方向における、5種類の方式の更新回数に対するSN値を示した。

パラメータの設定は、各動きボケ入力画像、共に実験6.1と近い値で、良好な鮮鋭化結果が得られた。薄板たわみモデルの4点法で行った鮮鋭化法が、他のフィルタに比べ、Nrが高い値をとることが分かった。また動きボケ用に書き直した更新式の方が、従来の更新式より、鮮鋭化能力が高い事が分かった。

7. むすび

薄板たわみモデルと Total Variationでは、SN比などの評価結果にはあまり大きな差が出なかった。また、4点法と8点法では、4点法の方がより良い鮮鋭化ができることが分かった。動きボケの鮮鋭化の実験では、薄板たわみモデル、Total Variatin 4点法、8点法の組合せSN比の結果としては、大きな差が出なかった。

今後、今回の動きボケ鮮鋭法を利用して、カメラの移動や物体の移動によって動きボケが生じた動画像に対して、ブロックマッチングを利用し動きボケの方向を自動判定し、その方向にのみ鮮鋭化処理を行う応用が考えられる。



図1 原画像



図2 入力画像



図3 鮮鋭化画像

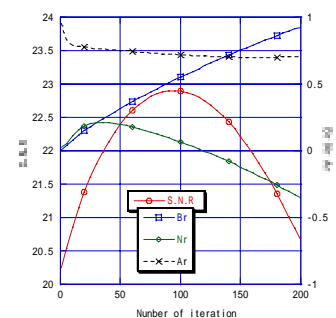


図4 SN, Br, Nr, Ar 更新特性



図5 0度方向の動きボケ画像



図6 動きボケ鮮鋭化画像

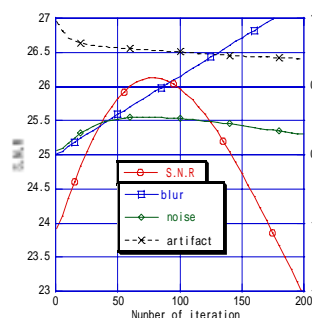


図7 SN Br Nr Ar 更新特性 (入力画像0度方向の動きボケ)

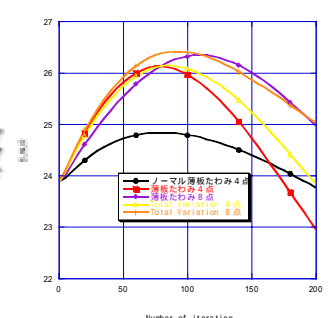


図8 各手法の更新回数に対するSN