

連立非線形拡散法による動きぼけの鮮鋭化 —非等方拡散と方向性ピーキングの導入—

Motion Deblurring by Simultaneous Nonlinear Diffusion Process -Introduction of Anisotropic Diffusion Process-

原田 寛之^{†‡}
Hiroyuki Harada

小松 隆^{†‡}
Takashi Komatsu

齊藤隆弘^{†‡}
Takahiro Saito

1. はじめに

筆者らが提案した鮮鋭化法の連立非線形拡散法は、軽度のぼけに対し鮮鋭化効果が得られ、画像品質が向上する方式である。本研究では、この手法を改造し、動き量が比較的小さな軽度の動きぼけを含むテスト動画画像から静止画像を生成する鮮鋭化について適用する。ここでは、画像をより効果的に鮮鋭化するため、動きぼけは運動方向に発生することから、運動方向に依存する形でピーキングをかける。また雑音の除去を目的としている非線形拡散項を運動方向に対して垂直な方向のみに限定するように改造する。

2. 連立非線形拡散法 (等方的手法)

連立非線形拡散法は、P-M(Perona-Malik) 非線形拡散モデルを拡張した反復更新型非線形アルゴリズムとして、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}\frac{\partial f}{\partial \tau} &= \text{div} [g(\|\nabla f\|) \cdot \nabla f] - s(u_x + u_y) - \frac{\sigma^2}{2\lambda}(f - I) \\ \frac{\partial u}{\partial \tau} &= \frac{1}{\lambda} \cdot \text{div} [g(\|\nabla u\|) \cdot \nabla u] - (u - I) \\ \frac{\partial v}{\partial \tau} &= \frac{1}{\lambda} \cdot \text{div} [g(\|\nabla v\|) \cdot \nabla v] - (v - I) \\ g(z) &= 1 / \{1 + (z/K)^2\}\end{aligned}\quad (1)$$

第一式は関数 f は更新される画像であり、関数 I は入力画像である。第二式、第三式の関数 u, v は補助関数であり、それぞれ関数 f の縦方向、横方向の一階偏微分の近似関数を意味する。

第一式の右辺の第一項は非線形拡散項であり、非線形拡散係数として関数 g を採用している。この項により、画像エッジとは異なる微小変動やノイズは更新の初期段階で除去される。第二項はピーキング項であり、パラメータ s はピーキングの程度を制御し、エッジを強調する。この項では、 u, v の一階偏微分で関数 f のラプラシアンを表現している。第三項は反作用項である。この項は、更新画像の入力画像からの逸脱を制御する項である。

このように、非線形拡散とピーキング項を拮抗させたプロセスとなっている。

3. 方向性ピーキングの導入

動きぼけは、動物体とカメラとの間の相対的な動きとし

て、カメラの蓄積時間に動き方向に沿った非等方的なぼけとして生じる。方向性ピーキングでは、動きぼけ方向と直交した方向にも不要なピーキングを作り出す。効果的な鮮鋭化を実現するには、ピーキングの付加を運動方向のみに制限する必要がある。そこで、連立非線形拡散法の更新項に動き方向に適応した非等方的ピーキング項を導入する。

(x, y) の座標系から原点を中心に θ [rad] だけ回転させた座標系を (ξ, η) と定義する。 ξ 方向に動きぼけが生じた場合、これを除去するには、 ξ 軸方向の二階偏微分を用いてピーキング項と定義すればよい。

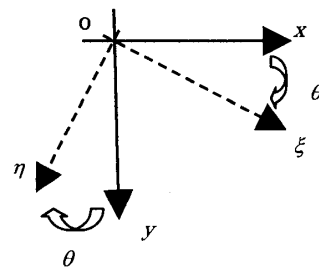


図1 二つの直交座標系の関係

3.1 二軸非等方的手法

補助関数 u, v の x 軸方向、 y 軸方向の二階偏微分の線形結合で ξ 方向の二階偏微分を表現すると、式(1)の第一式は次式のように書き換えられる。

$$\begin{aligned}\frac{\partial f}{\partial \tau} &= \text{div} [g(\|\nabla f\|) \cdot \nabla f] \\ &\quad - s(\cos^2 \theta \cdot u_x + \cos \theta \cdot \sin \theta (u_y + v_x) + \sin^2 \theta \cdot v_y) \\ &\quad - \frac{\sigma^2}{2\lambda}(f - I)\end{aligned}\quad (2)$$

この手法の場合、 $\theta=0$ や $\pi/2$ のような x 軸や y 軸に沿う動きの特別な場合以外は、更新する際に参照するサンプル点が運動方向とは無関係に等方的に配置される。

3.2 四軸非等方的手法

まず、 f の ξ 軸方向の一階偏微分を関数 f の x 軸方向、 y 軸方向の一階偏微分の近似の意味を有する二つの補助関数 u, v を用い、次式で表現する。

$$f_\xi = \cos \theta \cdot u + \sin \theta \cdot v \quad (3)$$

次に、これを ξ 方向に直接に一階偏微分することで、 ξ 軸

[†] 神奈川大学 工学部

[‡] 神奈川大学ハイテクリサーチセンター

方向の二階偏微分 $f_{\xi\xi}$ を計算する。

$$f_{\xi\xi} = \frac{\partial}{\partial \xi} (f_{\xi}) = \cos \theta \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} u + \sin \theta \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} v \quad (4)$$

この時、式(1)の第一式は次のように書き換えられる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial \tau} = & \operatorname{div} [g(\|\nabla f\|) \cdot \nabla f] \\ & - s \left(\cos \theta \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} u + \sin \theta \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} v \right) \\ & - \frac{\sigma^2}{2\lambda} (f - I) \end{aligned} \quad (5)$$

実際の離散化では、水平軸方向、垂直軸方向、対角軸方向、反対角軸方向の四つの偏微分作用素の中から ξ 軸方向に最も近い軸方向の偏微分作用素の一つまたは二つを選択する。次に、選択された偏微分作用素を用いて一階偏微分 $\partial / \partial \xi$ を表現し、運動方向に沿ったサンプル点を用いて差分近似する。

4. 非等方的拡散の導入

ξ 方向にぼけが生じた場合、従来の方式で鮮鋭化を行うと、ピーキングを行う ξ 方向にも拡散を行ってしまう。そこで方向性を考慮した拡散法を導入する。拡散項は ξ 方向とは垂直する η 方向のみに限定する。すなわち、式(1)の第一項は次のようになる。

$$\frac{\partial}{\partial \eta} [g(\|\partial f / \partial \eta\|) \cdot \partial f / \partial \eta] \quad (6)$$

実際の離散化では η 方向のみに Perona と Malik の離散化法を適用し、 η 方向の一次元非線形拡散として離散化する。

5. 実験方法

背景画像と動く小画像とから、動きぼけを含む動画画像を合成し、テスト動画画像として用いる。動小画像が時刻 $t-1/2 \sim t+1/2$ 間をフレーム間隔間速度 V で等速運動をしていると仮定する。実際の1フレーム時間区間に仮想的に $K-1$ 枚のフレームを用意し、それぞれの仮想フレームに動小画像が V/K の位置ずれを含む画像を生成する。ただし、座標は一般には整数座標ではないので、動小画像境界画素を考慮した双一次内挿法を適用して $K-1$ 枚の画像を生成する。このように生成された K 枚の合成画像の時間平均をとることで、時刻 t における動きぼけ画像を生成する。

図2に原小画像、図3に小画像の速度 $V=(3, 3)^T$ と設定した45度方向の動きぼけテスト画像、図4に非等方拡散と四軸方式を組み合わせた手法の更新画像を示す。ただし、埋めこまれた小画像部分のみを表示した。非線形拡散項として等方性拡散と非等方性拡散のいずれかを採用した場合、またピーキング項として等方的ピーキング、2軸型非等方手法、4軸型非等方手法

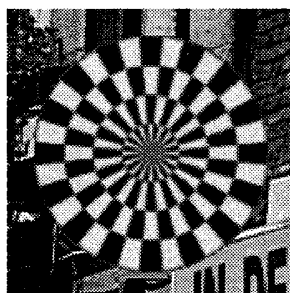


図2 原画像

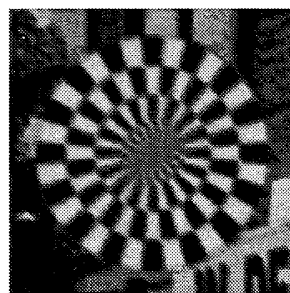


図3 45度方向動きぼけテスト画像

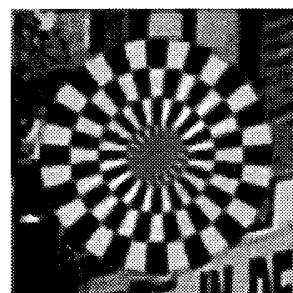


図4 更新画像

の3つの異なる方式のいずれかを採用した場合、の計六種類の手法について検討した。テスト画像中の埋め込まれた小画像部分で鮮鋭化画像のPSNR[dB]を算出して鮮鋭化性能を比較した。

本稿では、非等方的拡散やピーキング項の導入による動きぼけの鮮鋭化性能の改善効果を分離して評価するため、動き方向の推定を行わず、真の動き方向が既知であるとして鮮鋭化性能を評価した。

6. 鮮鋭化性能の評価

45度方向の動きぼけテスト画像と原小画像間のPSNRは19.427[dB]である。非線形拡散項とピーキング項の組み合わせ計六種類鮮鋭化手法による鮮鋭化画像のPSNRの改善度を表1に示す。

表1 PSNR改善度

	等方的拡散	非等方的拡散
等方的オーバーシュート	0.98[dB]	0.86[dB]
二軸非等方的オーバーシュート	1.10[dB]	0.89[dB]
四軸非等方的オーバーシュート	1.89[dB]	1.74[dB]

非線形拡散項を等方的拡散から非等方的拡散に変更することで、PSNRの改善度が低下していることがわかる。また、ピーキング項は四軸非等方ピーキングが最も高い。

7. むすび

四軸非等方的手法のように計算に用いるサンプル点が動き方向に配列するような離散化法を用いることで鮮鋭度能力が向上することが分かった。今後、ぼけの強さに対する鮮鋭化性能の変動、複雑な運動方向を持つ動画画像の鮮鋭化、また実際の動画画像の鮮鋭化を行う予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省『ハイテクリサーチセンター整備事業』の援助のもとに行われた。感謝の意を表する。

<参考文献>

- [1] 原田, 小松, 齊藤, FIT2003, J-049, 平成15年9月
- [2] 齊藤, 原田, 薩摩林, 小松, ICIP2003, WA-P4. 11, 平成15年9月
- [3] 原田, 小松, 齊藤, IMPS, I-2. 16, 平成15年11月
- [4] 原田, 小松, 齊藤, 総合大会, D-11-90, 平成16年3月
- [5] 原田, 小松, 齊藤, 映像情報メディア学会, 平成16年8月