

# IIR フィルタ処理による劣化画像の鮮鋭化

情報システム研究室 I 1 1 I M 0 3

太田尚貴

## 1. はじめに

近年のデジタルカメラには、オートフォーカス機能や手振れ補正等の技術が標準的に装備されている。そのため、撮影された写真にボケやぶれが発生する可能性はかなり低くなっている。しかし、撮影環境によってはデジタルカメラの性能が十分に発揮されなかったり、また、撮影者の撮影技術が低ければ高性能なデジタルカメラだとしても撮影された画像内のどこかで画質劣化が起きてしまう。

ところで、画質劣化は主にレンズの焦点ずれにより発生するボケと被写体の動きや手振れにより発生するぶれの二つがある。これらの画質劣化はフーリエ変換の高周波成分により表すことが可能である。したがって、画像内の画質劣化を取り除くためには、対象となる画像のフーリエ係数を画質劣化以前の値に戻し、この係数を逆フーリエ変換すればよい。ここで問題となるのは、画像処理のため用いられるフィルタ処理はフーリエ変換係数の特定周波数成分を零にするものが一般的であるため、逆操作が困難になることである。これに対し、フィルタ処理を工夫して畳み込み操作で表すことにより、困難を回避できることが明らかにされている。

本研究では、劣化画像に関するフーリエ変換係数値の変化を FIR フィルタにより近似し、その逆操作を IIR フィルタにより実現することで、簡単な操作により画像の鮮鋭化が可能になることを示す。

## 2. FIR フィルタ

有限インパルス応答(Finite Impulse Response : FIR)を基に設計されたフィルタを FIR フィルタと呼ぶ。FIR フィルタは、インパルス応答を $a(m, n)$ 、出力を $Y(v, h)$ 、入力を $X(v, h)$ とすると、畳み込み処理により以下のように表すことができる。

$$Y(v, h) = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N a(m, n) X(v - m, h - n)$$

この式に  $z$  変換を施すと以下のような関係が得られる。ここで、伝達関数 $H_1(z_1, z_2)$ は有限インパルス応答の  $z$  変換であることを注記しておく。

$$Z[Y(v, h)] = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N a(m, n) Z[X(v - m, h - n)] = \left[ \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N a(m, n) z_1^{-m} z_2^{-n} \right] X(z_1, z_2) = H_1(z_1, z_2) X(z_1, z_2)$$

## 3. IIR フィルタ

無限インパルス応答(Infinite Impulse Response : IIR)を基に設計されたフィルタを IIR フィルタと呼ぶ。IIR フィルタは、FIR フィルタのインパルス応答を $b(m, n)$ 、入力を $Y(v, h)$ 、出力を $T(v, h)$ として表すと、入出力関係を入れ替え書き換えることにより FIR フィルタを用いた畳み込み処理として以下のように形式化することができる。

$$T(v, h) = \frac{1}{b(0,0)} \left\{ Y(v, h) - \left[ \sum_{m \neq 0}^M \sum_{n \neq 0}^N b(m, n) T(v - m, h - n) \right] \right\}$$

これ式に  $z$  変換を施すと以下のような関係が得られる。また、伝達関数  $H_2(Z_1, Z_2)$  は無限インパルス応答の  $z$  変換になることを注記しておく。

$$\begin{aligned}
 T(v, h) &= \frac{1}{b(0,0)} \left\{ Y(v, h) - \left( \sum_{m \neq 0}^M \sum_{n \neq 0}^N b(m, n) T(v-m, h-n) \right) \right\} \\
 b(0,0)T(v, h) &= Y(v, h) - \left( \sum_{m \neq 0}^M \sum_{n \neq 0}^N b(m, n) T(v-m, h-n) \right) \\
 b(0,0)T(v, h) + \sum_{m \neq 0}^M \sum_{n \neq 0}^N b(m, n) T(v-m, h-n) &= Y(v, h) \\
 Y(z_1, z_2) &= \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N b(m, n) z_1^{-m} z_2^{-n} T(z_1, z_2) \\
 T(z_1, z_2) &= \frac{1}{\sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N b(m, n) z_1^{-m} z_2^{-n}} Y(z_1, z_2) \\
 &= X(z_1, z_2) \\
 &= H_2(z_1, z_2) X(z_1, z_2)
 \end{aligned}$$

以上の結果により、FIR フィルタと IIR フィルタに関する以下の関係が得られる。

$$\begin{aligned}
 Y(z_1, z_2) &= \frac{\sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N a(m, n) z_1^{-m} z_2^{-n}}{\sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N b(m, n) z_1^{-m} z_2^{-n}} X(z_1, z_2) \\
 &= H_1(z_1, z_2) H_2(z_1, z_2) X(z_1, z_2)
 \end{aligned}$$

これより  $M = N$  のとき FIR フィルタ  $H_1(z_1, z_2)$  で処理した入力信号を IIR フィルタ  $H_2(z_1, z_2)$  で処理する際に  $a(m, n) = b(m, n)$  ( $m, n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ) とすれば、 $H_1(z_1, z_2) H_2(z_1, z_2) = 1$  となることがわかる。その結果、 $T(z_1, z_2) = X(z_1, z_2)$  となることから FIR フィルタ処理された入力信号を IIR フィルタ処理により再現することが可能となる。以降、この関係を用いて劣化画像の鮮鋭化を行う。

#### 4. 劣化画像を用いた実験

ここでは、デジタルカメラで撮影されたボケ画像とぶれ画像に対して、比較的簡単な IIR フィルタ処理により、画像の鮮鋭化がどの程度まで可能であるかを実験により評価する。

実験に使用した劣化画像は  $888 \times 666$  ピクセル、24 ビットカラーであり、以下に示す。



図1 ボケ画像



図2 ぶれ画像

また、今回の実験では以下に示す 4 種類の FIR フィルタに対応する IIR フィルタを用いる。

$$\frac{1}{25}$$

0	0.5	1	0.5	0
0.5	1	2	1	0.5
1	2	5	2	1
0.5	1	2	1	0.5
0	0.5	1	0.5	0

図 3 フィルタ A

$$\frac{1}{25}$$

0	0.5	1	0.5	0
0.5	1	2	1	0.5
1	2	0.5	2	1
0.5	1	2	1	0.5
0	0.5	1	5	0

図 4 フィルタ B

0.2	0	0	0	0
0	0.2	0	0	0
0	0	0.2	0	0
0	0	0	0.2	0
0	0	0	0	0.2

図 5 フィルタ C

0.2	0	0	0	0
0	0.2	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0.2	0
0	0	0	0	0.2

図 6 フィルタ D

では、これらの画像およびフィルタを使用して得られた実験結果を見ていく。以下に示す画像はボケ画像(図 7)に対してフィルタ A で IIR フィルタ処理したもの(図 9)、ボケ画像に対してフィルタ B で IIR フィルタ処理したもの(図 10)を部分拡大したものである。



図 7 ボケ画像部分拡大



図 8 ぶれ画像部分拡大



図 9 鮮鋭化画像 1



図 10 鮮鋭化画像 2

また、以下に示す画像はぶれ画像(図 8)に対してフィルタ C で IIR 処理したもの(図 11)、ぶれ画像に対してフィルタ D で IIR 処理したもの(図 12)を部分拡大したものである。

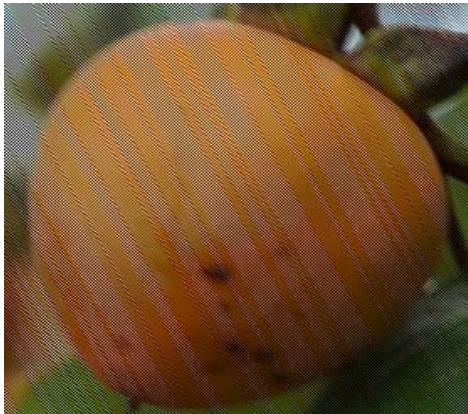


図 11 鮮鋭化画像 3



図 12 鮮鋭化画像 4

上記の結果、フィルタ A に基づく IIR フィルタ処理した結果(図 9)は原画像のぼけに対応するフィルタと FIR フィルタの両方とも周波数特性に零点を含んでいないため、逆処理として対応させることが可能と考えられる。しかし、焦点ずれを起こしている領域中の決め手となる点から始められないことやフィルタサイズが小さいことから荒れた画像となっている。フィルタ B で IIR フィルタ処理した結果(図 10)は決め手となる点すなわち位相をずらしているためフィルタ A と同じ値でも逆処理に近い形で対応していることからボケ画像の鮮鋭化に成功している。フィルタ C で IIR フィルタ処理した結果(図 11)はフィルタ A と同じ理由により荒れた画像となっている。フィルタ D で IIR フィルタ処理した結果(図 12)はフィルタ B と同じように位相をずらしたフィルタを使用したことで荒れた画像とはならなかったものの、ぶれに対して目に見える改善効果は発揮されていない。

## 5. まとめ

デジタルカメラで撮影された劣化画像に対して IIR フィルタ処理を行った。その結果、ボケ画像に対しては FIR フィルタの値がわからない場合でも周波数特性の位相をずらすことで IIR フィルタ処理による鮮鋭化が可能であることがわかった。これはボケ画像に関しては、フィルタの方向性をそれほど考慮しなくても良いことから、FIR フィルタの設計が容易であり、汎用性の高いことを示している。一方、ぶれ画像に対して簡単な IIR フィルタ処理を行った結果から、位相をずらしたフィルタを使用しても鮮鋭化はできないことが分かった。これは、実験にて使用した一方向の平滑化を行うフィルタのサイズが小さいことおよびぶれの方向とフィルタの方向性を一致させる必要のあることを示している。

## 参考文献

- [1] 『デジタル信号処理』 貴家仁志, 昭晃堂(1997)
- [2] 『ローパスフィルタに適した鮮鋭化処理』 名越裕晃, 岡山理科大学大学院修士論文(2010)
- [3] 『アウトフォーカス画像に対する新しい鮮鋭化処理について』 朝倉裕貴, 岡山理科大学大学院修士論文(2011)