

## ぶれ画像復元のための PSF 推定に関する研究

## A study on PSF estimation for restoring blurred images

野原 広志<sup>†</sup> 黒木 修隆<sup>†</sup> 廣瀬 哲也<sup>†</sup> 沼 昌宏<sup>†</sup>

Hiroshi Nohara Nobutaka Kuroki Tetsuya Hirose Masahiro Numa

## 1. はじめに

近年、デジタルカメラやスマートフォンの普及に伴い、ユーザにとって撮影が大変身近なものとなっている。しかし、撮影者の手ぶれによって画質が劣化することがある。最新のデジタルカメラには光学式の手ぶれ補正機能 [1] が搭載されているが、安価な小型カメラへの搭載は難しい。そこで、画像処理によってぶれ画像を復元する技術が求められている。

## 1.1. ぶれ画像の生成モデル

ぶれ画像  $g$  は、理想画像  $f$  と画像の劣化関数である Point Spread Function (PSF)  $h$  との畳み込み

$$g = f * h \quad (1.1)$$

で表される。ここでフーリエ変換を利用すると、式 (1.1) の畳み込み演算は積で実現できる。PSF、および原画像のスペクトルを  $H$ 、および  $F$  とすると、ぶれ画像のスペクトル  $G$  は

$$G(u,v) = H(u,v) \cdot F(u,v) \quad (1.2)$$

で表される。ここで、 $u, v$  は周波数領域上の座標を表す。また、復元画像は  $G(u,v)$  を  $H(u,v)$  で除算することで得た値を逆フーリエ変換することで得られる。

## 1.2. 従来の PSF 推定手法

従来手法として、ぶれ画像のケプストラムから PSF を推定する方法を説明する。

## 1.2.1. ケプストラム法

ケプストラム [2] とは、ある画像に対してフーリエ変換を行い、得られたスペクトルの対数を逆フーリエ変換したものである。ぶれ画像のケプストラム  $C(g)$  は

$$\begin{aligned} C(g) &= \mathcal{F}^{-1}(\log |\mathcal{F}(g)|) \\ &= \mathcal{F}^{-1}(\log |\mathcal{F}(f)| + \log |\mathcal{F}(h)|) \\ &= C(f) + C(h) \end{aligned} \quad (1.3)$$

で表される。ここで、 $\mathcal{F}, \mathcal{F}^{-1}$  はそれぞれフーリエ変換、および逆フーリエ変換、 $C(f), C(h)$  はそれぞれ原画像、および PSF のケプストラムを表す。上記のように対数をとることで、ぶれ画像のケプストラムは PSF と原画像のケプストラムの和で表すことができる。図 1.1 にケプストラム法の適用例と PSF を示す。ぶれ画像のケプストラムは PSF の概形を表すことが知られている。

## 1.2.2. 領域分割による性能改善

ぶれ画像  $g$  をタイル状に分割し、 $g = \{g_1, g_2, \dots, g_N\}$  とする。それぞれのケプストラムを  $C(g_n) (n=1, 2, \dots, N)$  とするとそれらの平均は

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N C(g_n) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N C(f_n) + C(h) \quad (1.4)$$

となる。ここで右辺の第 2 項目は式 (1.3) と同様に  $C(h)$  となるが、第 1 項目は  $C(f_n)$  の相加平均となることから、原画像の影響を抑える効果が期待できる。

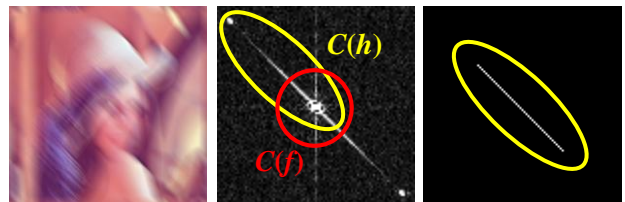
## 1.2.3. 局所最大値探索による PSF 推定処理

ぶれ画像のケプストラムに対して局所的に最大値を探索することで PSF を推定する手法が提案されている [3]。以下に手順を示し、流れを図 1.2 に示す。

- 1.2.2 節で得られたケプストラムに対して、PSF 推定を行う始点を決め、その点を注目画素とする。
- 注目画素に対して、画像の中心に向かって  $5 \times 5$  pixel の探索領域を設定する。
- 探索領域内の最大値を次の注目画素とする。
- 注目画素が中心にくるまで i) ~ iii) の処理を繰り返す。以上の探索後、注目画素をつなげたものを PSF とする。

## 1.3. 問題点

従来手法では、ぶれ画像のケプストラムから PSF を推定する際に、図 1.1 (b) の黄丸内のように輝度値が小さくぶれの軌跡が消失している部分では正確な PSF を推定することが困難である。その結果、推定 PSF が正解 PSF から遠ざかることで復元精度が低下する問題がある。



(a) ぶれ画像 (b) ケプストラム (c) 正解 PSF

図 1.1 ケプストラム法適用例

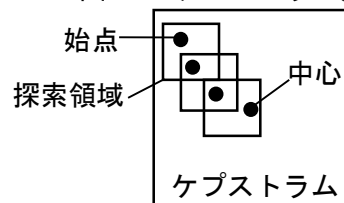


図 1.2 局所最大値探索

## 2. 提案手法

高精度なぶれ画像の復元を目的とし、ぶれの軌跡の強調と曲線近似を導入した PSF 推定手法を提案する。提案手法の流れを図 2.1 に示す。従来の処理工程に加え、(iv) で指数関数、(vii) に曲線近似を導入している。

## 2.1. 指数関数によるぶれの軌跡の強調

(i) ~ (iii) で求めた  $\log |G_n| (n=1, 2, \dots, N)$  の平均値を指数関数に代入すると

<sup>†</sup>神戸大学大学院工学研究科,  
Graduate School of Engineering, Kobe University

$$\begin{aligned}
 E &= \exp\left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log|G_n|\right) \\
 &= \left(\prod_{n=1}^N |G_n|\right)^{\frac{1}{N}} \\
 &= \left(\prod_{n=1}^N |F_n|\right)^{\frac{1}{N}} \cdot |H|
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

となる. 右辺の  $|F_n|$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) は相乗平均となることから, 原画像の影響を抑える効果が期待できる. これを逆フーリエ変換することにより, 変則的なケプストラム

$$C^{\wedge}(g) = \mathcal{F}^{-1}(E) \tag{2.2}$$

を得る. 従来手法と提案手法で作成したぶれ画像のケプストラムの例を図 2.2 に示す.

### 2.2. 曲線近似

ぶれ画像のケプストラムから局所最大値探索により得られた点の座標に対して, 最小二乗法を用いて曲線近似を行うことにより PSF を求める.

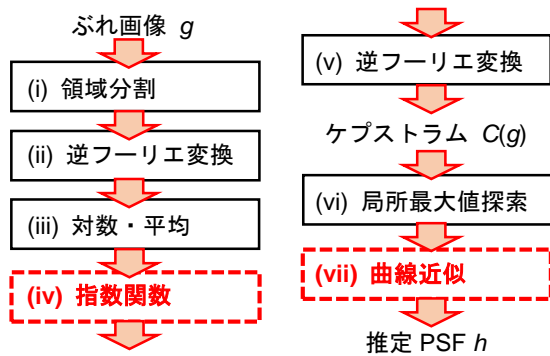
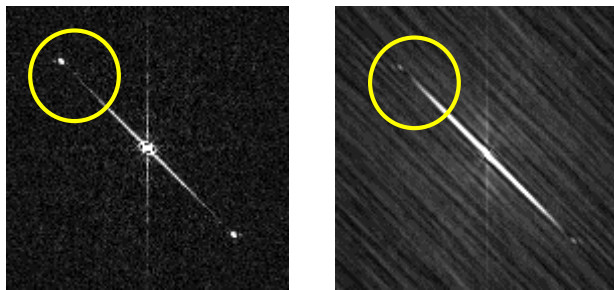


図 2.1 提案手法の流れ



(a) 従来手法 (b) 提案手法

図 2.2 ぶれ画像のケプストラム

### 3. シミュレーションと考察

提案手法と従来手法を用いてぶれ画像から PSF を推定し, それを用いてぶれ画像復元のシミュレーションを行った. ぶれ画像には, 評価用画像 5 枚を図 3.1 に示す 6 種類の PSF により生成した計 30 枚を用いた. 評価項目は PSNR とする.

PSNR の測定結果を表 3.1 に示す. 表 3.1 より, 提案手法では PSNR が平均 1.24dB 向上したことが確認できる. これは, 指数関数によってぶれの軌跡を強調したこと, 曲線近似により PSF を滑らかにしたこと, より正確な PSF を推定できたためだと考えられる. 処理結果の一例を図 3.2 に示す. 黄丸で囲った部分を比較すると, 提案手法の PSF は, 正解 PSF に近いことが確認できる. また, 提案手法は輪郭付近のリングングノイズの発生を抑制できたことが確認できる.

表 3.1 各 PSF における PSNR 測定結果 [dB]

PSF	従来手法	提案手法
PSF1	20.40	<b>22.46</b>
PSF2	20.12	<b>20.99</b>
PSF3	<b>18.23</b>	17.96
PSF4	24.75	<b>25.02</b>
PSF5	19.19	<b>21.83</b>
PSF6	19.37	<b>21.23</b>
平均	20.34	<b>21.58</b>

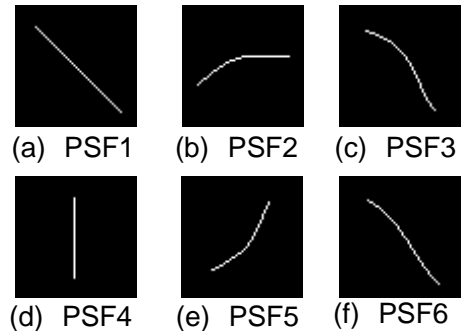
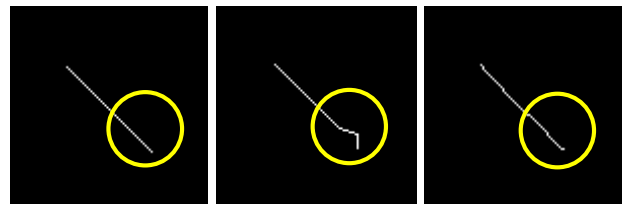
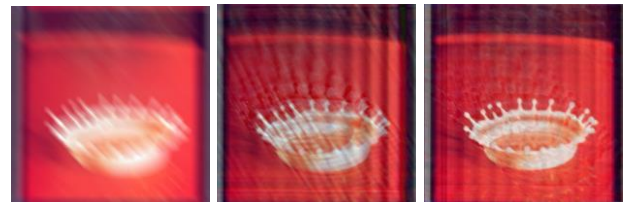


図 3.1 実験に用いた PSF



(a) 正解 PSF (b) 従来 PSF (c) 提案 PSF



(d) ぶれ画像 (e) 従来手法 (f) 提案手法

図 3.2 処理結果の一例

### 4. まとめ

本研究では, 高精度なぶれ画像の復元を目的とし, ぶれの軌跡の強調と曲線近似を用いた PSF 推定手法を提案した. シミュレーションの結果, 提案手法では従来手法に比べ, PSNR が平均 1.24 dB 向上することが確認できた. 今後は, 実際に撮影した手ぶれ画像へ適用する予定である.

#### 参考文献

- [1] “手ぶれ補正機能”  
<http://www.nikon.co.jp/profile/technology/life/imaging/stabilization/index.htm>
- [2] 小山田 雄仁, “劣化画像のケプストラムを利用した手ブレ補正”, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, pp. 147-152, 2008.
- [3] 浅井 晴香, “ケプストラム解析を用いたブレ画像の Blind Deconvolution”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2009), 2009.