

PSF が未知の場合における上下手ぶれ劣化画像の復元手法

豊田 敬央[†] 宮岡 伸一郎[†][†] 東京工科大学メディア学部メディア学科

1 はじめに

近年、デジタルカメラの普及が進んでいるが、デジタルカメラによる撮影の際、様々な要因により画像劣化が発生する場合がある。特に、カメラのコンパクト化などが原因で、撮影結果が手ぶれの影響を受けやすい。また、デジタルカメラは本体上部にあるシャッターボタンを“押す”という動作により撮影が行われるため、上下の手ぶれ劣化が多く見られる。このような現状を受け、本稿ではデジタルカメラで撮影した上下の手ぶれ劣化画像を対象とし、手ぶれ劣化画像から手ぶれなしの画像を推定して復元を行うことを目的とする。

2 画像の復元とは

一般に、原画像 $f(x, y)$ が線形の劣化を受けたときの画像劣化モデルは $g(x, y) = f(x, y) * h(x, y)$ となる。 g は劣化画像、 h は劣化過程を示す PSF (Point Spread Function)、 $*$ はコンボリューション演算子である。このモデルから原画像 f を復元する操作はデコンボリューションと呼ばれる。一般に、デコンボリューションは畳み込みに関するフーリエ変換の性質を利用して行われる。画像劣化モデルのフーリエ変換は次式となる。

$$G(\mu, \nu) = F(\mu, \nu)H(\mu, \nu) \quad (1)$$

G, F, H はそれぞれ g, f, h のフーリエ変換である。直感的には G を H で除算すれば F を得られるが、 H が 0 に近い値をとるとき、結果が発散してしまったり、ノイズが増幅してしまったりする問題がある^[1]。これらの解決手法としてウィーナフィルタや Richardson-Lucy Deconvolution^[2](RL 法) などがある。PSF を未知としたときの画像復元手法はブラインドデコンボリューションというが、既知の情報が g のみなので先験的知識や仮定を設定して解を絞る必要がある。

3 PSF の推定手法

3.1 PSF の直線近似

PSF はぶれの軌跡によって決まるため複雑な形となる場合が多いが、露光時間が短い場合には、ぶれのモーションを等速直線運動によって近似できる。このとき PSF は、ぶれの幅 L 、ぶれの方向 θ の 2 つのパラメータによって決定される。PSF を上述のパラメータを持つ等速直線運動で近似すると次式となる。

$$h(x, y) = \frac{1}{L} \delta(\vec{L}) \quad (2)$$

δ はデルタ関数、 \vec{L} の方向は θ である。

3.2 ケプストラムによるパラメータ推定

直線近似した PSF のぶれの幅 L 、ぶれの方向 θ の推定方法は文献^[3]に詳しくまとめられている。本稿では、劣化画像のケプストラム (対数振幅スペクトルの逆フーリエ変換) による推定手法を用いる。空間領域での畳み込み積分は、ケプストラム領域で足し算となる^[1, 3]。

$$C_g(\xi, \eta) = C_f(\xi, \eta) + C_h(\xi, \eta) \quad (3)$$

C_g, C_f, C_h はそれぞれ g, f, h のケプストラムである。このとき、周波数領域で周期的な 0 値を持つ画像はケプストラム領域で大きな負値をとることがわかっている。この性質を利用した直線ぶれの復元手法が提案されている^[1, 3]。PSF を直線近似した場合、 L はケプストラムのピークから最小値点までの距離に等しく、 θ はケプストラムのピークから最小値点のなす角度となる。

4 PSF 生成時の問題点と解決策

本稿では、上下方向の手ぶれ劣化を想定しているので、ぶれの方向 $\theta = \pi/2$ とし、ぶれの幅 L のみ推定すればよい。しかし、ぶれの方向 θ が正確に $\pi/2$ となる場合は少なく、角度誤差が出る。この時、離散化した PSF に角度誤差が反映されず、 $\theta = \pi/2$ と同じ PSF になる場合がある。また、角度誤差が反映されたとしても、離散化した PSF に離散化誤差が発生する場合がある。Fig1 に角度誤差が反映されない様子、Fig2 に離

Up-to-down Motion Blurred Image Deconvolution
Takahisa TOYODA[†], Shinichiro MIYAOKA[†]

[†] Faculty of Media Science, Tokyo University of Technology
192-0982, Tokyo, Japan
m0105316cc@mss.teu.ac.jp miyaoka@media.teu.ac.jp

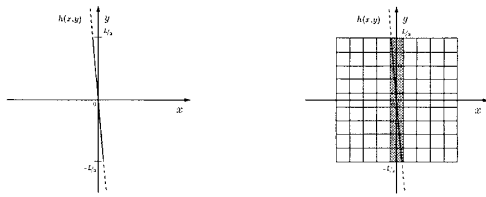


Fig 1: 角度誤差が反映されない様子 左: アナログの PSF, 右: デジタルの PSF

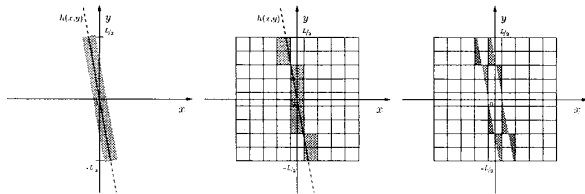


Fig 2: 離散化誤差が発生する様子 左: 理想的なデジタルの PSF, 中央: デジタルの PSF, 右: 左と中央の誤差

散化誤差が発生する様子をそれぞれ示す。このように、PSF のパラメータを推定できたとしても、離散 PSF を生成するときの離散化誤差の影響でデコンボリューションが不安定になる。そこで、本稿では推定したぶれの方向 $\theta = \pi/2 + \varepsilon$ としたとき、以下の 2 つのアプローチについて実験を行う。

- 劣化画像を $-\varepsilon$ だけ回転させる。このとき、アンチエイリアスのかかる補間処理を加える。ぶれの方向が $\pi/2$ の PSF を生成し、復元を行う。復元処理後の画像に対し、 ε だけ回転したものを結果画像とする。
- ぶれの方向 $\pi/2$ の PSF を生成する。PSF を ε だけ回転させる。このとき、アンチエイリアスのかかる補間処理を加える。これを用いて復元を行う。

補間処理にはバイキュービック法を用いる。

5 復元実験結果

Fig3 に劣化画像、Fig4 に劣化画像を離散化誤差を考慮しない PSF 生成手法を用いて復元した結果、提案した画像復元手法を用いて復元した結果をそれぞれ示す。デコンボリューションには RL 法を利用した、Fig3 と Fig4 を比べると、文字が見える程度に復元できていることがわかる。Fig4 の上行について、離散化誤差を考慮しない PSF を用いた復元手法 (左列) はリングングノイズの影響で文字が見づらい。しかし、劣化画像の回転を用いた復元手法 (中列) と PSF の回転を用いた復元手法 (右列) では、文字がはっきりと見えることがわかる。また、下行について、左列はリングングノイズの影響が画像の境界付近にまで出ているが、中列、右列は、左列に比べてリングングノイズ

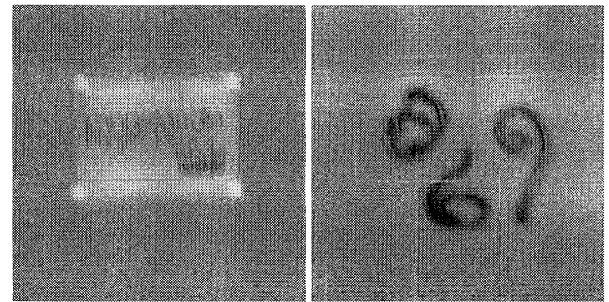


Fig 3: 劣化画像 左: 掲示板の紙 ($L = 13, \varepsilon = 8^\circ$), 右: 知恵の輪 ($L = 9, \varepsilon = 12^\circ$)

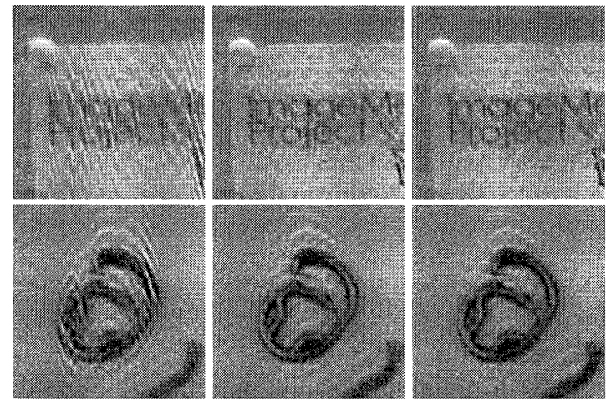


Fig 4: 復元画像 左列: 離散化誤差を考慮しない PSF を用いた復元画像, 中列: 劣化画像の回転を用いた復元画像, 右列: PSF の回転を用いた復元画像

の影響が少ないことがわかる。このことから、提案手法によって生成した復元画像はより真値に近い復元画像と考えられる。

6 まとめ

本稿では、上下手ぶれ劣化画像復元の際に起こる離散化誤差の影響を抑える簡易な手法を提案した。直線ぶれと仮定した場合の本手法の有用性を実写の劣化画像復元の実験によって確認した。今後は複雑な手ぶれに対応した画像復元手法を考えていきたい。

文 献

- [1] 小山田ら “劣化画像のケプストラムを利用した手ブレ補正,” 情報処理学会研究報告, No.2008-CVIM-164, pp.147-152 (2008)
- [2] L. B. Lucy “An iterative technique for the rectification of observed distributions,” The Astronomical Journal, Vol.79, No.6, pp.745-754 (1974)
- [3] F. Kraemer, Y. Lin, B. McAdoo, K. Ott, J. Wang, D. Widemannk, and B. Wohlberg “Blind image deconvolution: motion blur estimation,” University of Minnesota, Tech. Rep. (2006)