

## 変分ベイズ法による静止画像の電子的動きぶれ補正

藪頭元春<sup>†</sup> 船富卓哉<sup>†</sup> 飯山将晃<sup>†</sup> 美濃導彦<sup>†</sup>京都大学<sup>†</sup>

## 1. 序論

静止画像の撮影においては、露光中のカメラや被写体の動きによって動きぶれが生じる。露光時間を短くすると動きぶれは抑えることができるが、その一方で光量の減少による雑音が生じる。雑音を生じることなく動きぶれを抑えた撮影を実現するために、ぶれ補正が求められる。

既存のデジタルカメラの多くには光学的ぶれ補正の機能が搭載されている[1]。これは露光中にレンズやセンサを駆動して動きを補償するものであるが、カメラの小さな動きによる手ぶれにしか対処できない。それに対してカメラと計算機を組み合わせた電子的ぶれ補正が近年注目されている[1]。これは短露光によって動きぶれを抑えつつ、複数の画像を用いた画像復元によって雑音を取り除くことで、動きぶれも雑音も抑えた画像を得るものである。具体的には、複数の短露光画像を連続的に観測し、それらから単一の画像を復元する[2]。電子的ぶれ補正は、短露光を利用する原理上、カメラの大きな動きや被写体の動きにも対処できる。しかし復元に必要な画像間での位置合わせが短露光による雑音の影響を受けやすいことにより、復元の性能に限られるという問題がある。

本稿では変分ベイズ法を用いた、短露光による雑音に頑健な電子的ぶれ補正の手法を提案する。これは位置合わせと復元を反復的に行うことで、復元で得られる雑音の少ない画像を利用して位置合わせの精度を高めるものである。また従来の変分ベイズ法による復元[3]や位置合わせ[4]とは異なり、復元と位置合わせを同時に扱う。

## 2. 変分ベイズ法による動きぶれ補正

まずカメラによって短露光画像列を観測する。画像あたりの露光時間を十分に短くすることで、各画像中の動きぶれは無視できるほど少なくできるが、雑音は多くなる。

次に計算機によって、全観測画像を使って基準画像から雑音を除去することで、動きぶれも雑音も少ない単一の画像を復元する。ここでは撮

影開始の瞬間を反映した画像を得るため、1枚目の観測画像を基準画像とする。前処理として、大まかな位置合わせによって観測画像間の動きによる変位を小さくしておく。ここでは粗密推定とワーピングによって大きな変位に対処できる手法[5]を用いる。

復元のためのモデルを定義するため、大まかな位置合わせを行った観測画像列・復元画像をそれぞれベクトル化して確率変数  $y \in \mathbb{R}^{mn}$ ,  $x \in \mathbb{R}^n$  とする。ここで  $m$  は観測画像の数、 $n$  は画像あたりの画素数である。また復元画像の各観測画像に対する位置合わせをオプティカルフローでパラメータ化し、それをベクトル化して確率変数  $w \in \mathbb{R}^{2mn}$  とする。基準画像に対するフローはゼロに固定しておく。短露光で生じる雑音はガウス分布に従う[1]と仮定して、 $x, w$  による  $y$  の条件付き分布を定義する：

$$p(y|x, w) = N(y|H(w)x, \beta I).$$

ここで  $N$  は平均・精度で決まるガウス分布の確率関数、 $H(w)$  は  $w$  によるワーピング行列、 $I$  は単位行列である。ここで雑音の標準偏差  $1/\sqrt{\beta}$  は既知とする。また正則化として、復元画像・フローはエッジ等を除いて滑らかであり、それらの高周波成分は裾の広い  $t$  分布に従う[3, 4]と仮定して、 $x, w$  の変則事前分布をそれぞれ定義する：

$$p(x) \approx t(Gx|0, \alpha I, \nu),$$

$$p(w) \approx t(Fw|0, \omega I, \mu).$$

ここで  $t$  は平均・精度・自由度で決まる  $t$  分布の確率関数、 $G, F$  はハイパスフィルタ行列である。ここではフィルタとしてウェーブレット変換を用いる。最後にベイズの定理により、 $y$  が与えられた時の  $x, w$  の同時事後分布を得る：

$$p(x, w|y) \propto p(y|x, w)p(x)p(w).$$

このモデルにおいては観測画像間ではなく、観測画像と復元画像の間で位置合わせを行っている。これにより、復元が進むにつれて位置合わせの精度を高めることができる。

以上のモデルに基づいて、ベイズ推定による画像復元を行う。これは  $y$  が与えられた時の事後確率を最大化する  $x$  を求める問題である。それには同時事後確率を  $w$  について周辺化して  $x$  の事後分布を得る必要があるが、厳密な周辺化は解析的に困難であるため、変分ベイズ法による近似[3]を行う。これにより同時事後確率  $p$  は潜在変数

Electronic Still Image Stabilization by a Variational Bayesian Method

<sup>†</sup> Motoharu Sonogashira, Takuya Funatomi, Masaaki Iiyama, and Michihiko Minoh, Kyoto University

$x, w$  の近似事後確率  $q$  の積に分解される :

$$p(x, w|y) \approx q(x)q(w).$$

ここで  $q(x)$  が  $x$  の事後分布の近似を与える. この分解は  $y$  を含む全変数の同時確率の対数期待値を, 各潜在変数の近似事後分布について取ることで得られる. ただし  $t$  分布の非線形性によってそのままでは期待値が取れないため, 各  $t$  分布に補助変数を導入してガウス分布とガンマ分布への分解[3]を行う. またワーピングを  $w$  について線形化するため,  $H(w)$  を  $w$  についての原点での一次テイラー展開で近似する. これにより,  $x, w$  の近似事後分布はガウス分布, 補助変数の近似事後分布はガンマ分布としてパラメータ化される. また  $t$  分布のパラメータである精度  $\alpha, \omega$  ・自由度  $\nu, \mu$  も, 全変数の同時確率の導関数をゼロとすることで得られる. これらのパラメータは相互に依存しているため, 各パラメータを他のパラメータは固定して求めることを繰り返すことによって, 全パラメータを反復的に更新する. ここで  $q(x), q(w)$  のパラメータの更新がそれぞれ復元・位置合わせに相当し, 最終的に得られた  $q(x)$  の平均が復元の結果画像となる. 実装においては更新に必要な大規模疎行列 ( $q(x), q(w)$  の精度パラメータ) の逆の計算が困難であるため, 共役勾配法による近似計算[3]を行う.

### 3. 実験

提案手法の有効性を評価するため, シミュレーションによる実験を行った. 単純なカメラの動きによる手ぶれを想定し, 1枚の実画像に並進・ガウス雑音を加えて 16枚の画像を合成した. これらを観測画像列として, (a)長露光 (全画像の平均) ・(b)短露光 (基準画像のみ) ・(c)電子的ぶれ補正の従来手法[2] (ブロック単位の位置合わせと復元) ・(d)提案手法を適用した. ここで従来手法と提案手法に必要なパラメータである雑音の標準偏差は真値を与えた.

各手法による結果として得られた画像を図1に示す. 特に, 従来手法と提案手法による画像は拡大して図2に示す. またこれらの画像の structural similarity (SSIM) [6] についての画質を図3に示す. 従来手法では動きぶれは抑えられたが, 雑音だけでなく画像の詳細 (特にテクスチャ) も平滑化してしまった (図2(c)). それに対して, 提案手法では詳細を保ちつつ, 見た目 (図2(d)) にも SSIM についてもより高い画質を達成できた. これは提案手法の短露光による雑音への頑健性を示していると考えられる.

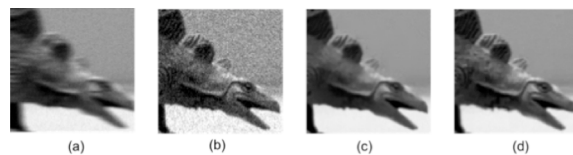


図1 (a)長露光, (b)短露光, (c)従来手法[2], (d)提案手法によって撮影した画像.

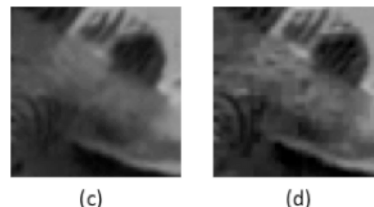


図2 (c)従来手法[2], (d)提案手法によって撮影した画像の拡大.

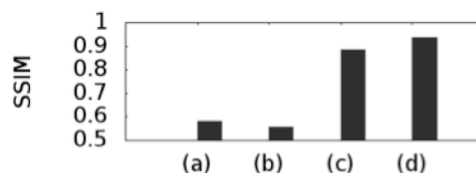


図3 (a)長露光, (b)短露光, (c)従来手法[2], (d)提案手法によって撮影した画像の画質.

### 4. 結論

本稿では, 変分ベイズ法によって復元と位置合わせを反復的に行うことで, 短露光による雑音に頑健な電子的動きぶれ補正の手法を提案した. より複雑な動きや実画像列に対する評価は今後の課題である.

### 参考文献

- [1] M. Tico *et al.*, "Low-Light Imaging Solutions for Mobile Devices," in *Proc. ACSSC*, pp. 851-855, 2009.
- [2] M. Tico, "Adaptive Block-Based Approach to Image Stabilization," in *Proc. ICIP*, pp. 521-524, 2008.
- [3] G. Chantas *et al.*, "Variational Bayesian Image Restoration with a Product of Spatially Weighted Total Variation Image Priors," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 19, no. 2, pp. 351-362, 2010.
- [4] G. Chantas *et al.*, "Variational-Bayes Optical Flow," *J. Math. Imaging Vis.*, vol. 50, no. 3, pp. 199-213, 2014.
- [5] T. Brox *et al.*, "High Accuracy Optical Flow Estimation Based on a Theory for Warping," in *Proc. ECCV LNCS*, vol. 3024, pp. 25-36, 2004.
- [6] Z. Wang *et al.*, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004.