

# 高フレームレートカメラを用いた動被写体の高画質撮影 High-quality Imaging of a Moving Subject using a High-frame-rate Camera

小室 孝<sup>†</sup> 渡辺 義浩<sup>†</sup> 石川 正俊<sup>†</sup>  
Takashi Komuro<sup>†</sup> Yoshihiro Watanabe<sup>†</sup> Masatoshi Ishikawa<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 東京大学情報理工学系研究科

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

**Abstract:** In this paper we propose a method of high quality imaging of a moving object by combining images captured by a high-frame-rate camera. Extraction of target region enables combination of both target and background areas. Video-to-video conversion is also realized by repeating image combination with shifting a base frame.

## 1 はじめに

イメージセンサの性能向上に伴い、デジタルカメラの高画質化が進んでいる。しかし、暗所で利用したり、動被写体をぶれなく撮影したりしようとすると、イメージセンサのさらなる高 S/N 化が必要となる。

イメージセンサの S/N を向上させる簡便な手段として、露光時間を長くするという方法がある。露光時間を長くすることにより、信号量を増やすことができるので、ノイズが一定量の場合には S/N を向上させることができる。しかしこの方法では、対象が静止していなければならず、カメラや撮影対象が動いた場合は画像がぶれてしまうという問題がある。

そこで本研究では、1 秒間に 1000 枚の高フレームレート撮像が可能なカメラを用いることで、ぶれの少ない画像を多数枚取得し、それらを合成することで高画質の画像を得る手法を提案する。

## 2 画像合成のアルゴリズム

画像中に動体は一つとし、運動による見えの変化が画像上では平面アフィン変換で近似できるものとする。対象領域の抽出により、背景が存在する場合でも対象と背景のどちらもぶれることなく合成される。なお、対象の移動量が大きく平面アフィン変換で近似できない場合については、[1] で検討を行っている。

### 2.1 動体領域の抽出

基準フレームを  $k_0$ 、 $k$  フレーム目の入力画像を  $I_k(x, y)$  とする。 $I_k(x, y)$  を時空間で平滑化し、ノイズを目立たなくしたものを  $\tilde{I}_k(x, y)$  とし、基準フレームの前後  $2\tau$  フレームについて基準フレームに対する差分絶対値総和を以下のとおり計算する。

$$E(x, y) = \sum_{k=k_0-\tau}^{k_0+\tau} |\tilde{I}_k(x, y) - \tilde{I}_{k_0}(x, y)|^2 \quad (1)$$

$E(x, y)$  を平滑化したものを  $\tilde{E}(x, y)$  とすると、動体領域  $M$  は以下のように決定する。

$$\begin{cases} (x, y) \in M & (\tilde{E}(x, y) \geq \alpha) \\ (x, y) \notin M & (\tilde{E}(x, y) < \alpha) \end{cases} \quad (2)$$

### 2.2 動き推定

$k$  フレーム目の動きパラメータを  $\mathbf{p}_k = (a_k \ b_k \ c_k \ d_k \ e_k \ f_k)^T$  とする。原点フレーム  $k_0$  における座標  $(x, y)$  上の点が、対象の運動によって  $k$  フレーム目には  $(u_k(x, y), v_k(x, y))$  に移動するとすると、

$$u_k(x, y) = u(x, y; \mathbf{p}_k) = (1 + a_k)x + b_k y + c_k \quad (3)$$

$$v_k(x, y) = v(x, y; \mathbf{p}_k) = d_k x + (1 + e_k)y + f_k \quad (4)$$

と書ける。このとき、

$$J_k = \sum_{x, y \in M} |\tilde{I}_k(u(x, y; \mathbf{p}_k), v(x, y; \mathbf{p}_k)) - \tilde{I}_{k_0}(x, y)|^2 \quad (5)$$

を最小化する  $\mathbf{p}_k$  を反復計算 [2] により求める。

### 2.3 対象領域の決定

2.1 で求めた動体領域は、動きの有無を複数フレームに渡って観察しているため、原点フレームでは対象が存在しない場所でも対象の移動に伴って領域と判断されてしまうことがある。そこで、動き推定の結果を用いてより精密な対象領域の決定を行う。

$$E_1(x, y) = \sum_k |\tilde{I}_k(x, y) - \tilde{I}_{k_0}(x, y)|^2 \quad (6)$$

$$E_2(x, y) = \sum_k |\tilde{I}_k(u_k(x, y), v_k(x, y)) - \tilde{I}_{k_0}(x, y)|^2 \quad (7)$$

とし、これらを平滑化したものを  $\tilde{E}_1(x, y)$ 、 $\tilde{E}_2(x, y)$  とすると、対象領域  $T$  は、以下のように決定する。

$$\begin{cases} (x, y) \in T & (\tilde{E}_1(x, y) \geq \tilde{E}_2(x, y)) \\ (x, y) \notin T & (\tilde{E}_1(x, y) < \tilde{E}_2(x, y)) \end{cases} \quad (8)$$

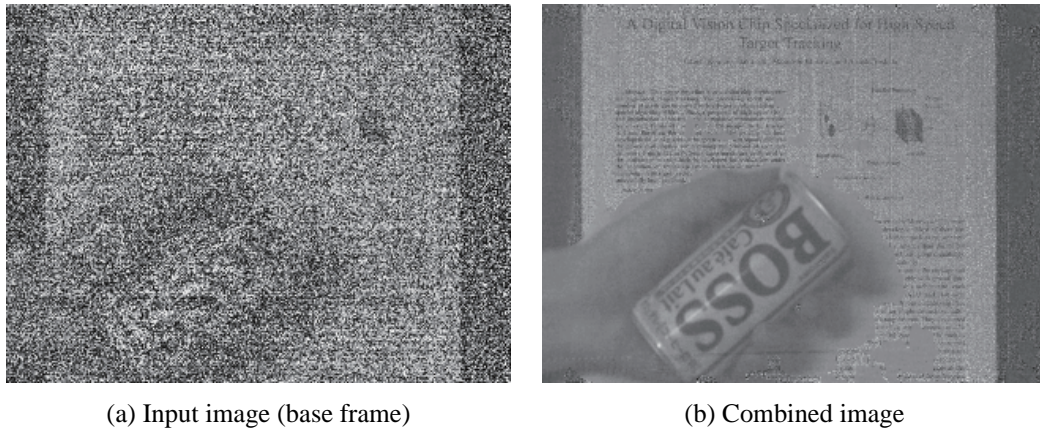


Figure 1: Experimental results.

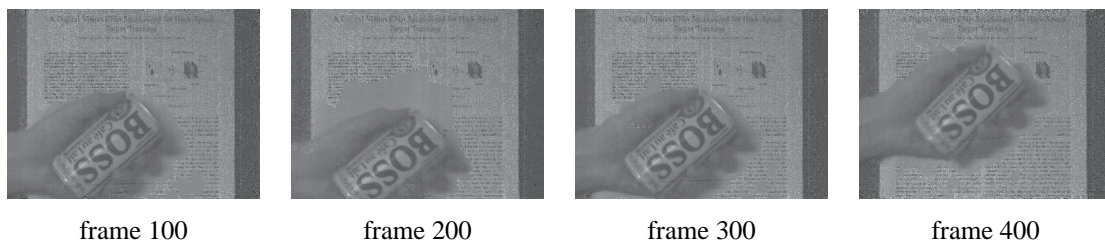


Figure 2: Video-to-video conversion.

このとき、背景領域であっても対象が移動してくることによって対象領域とみなされてしまうことがある。そこで、一度対象領域を求めたあとで、上式の計算において画素  $(x, y)$  がフレーム  $k$  における移動後の対象領域に該当するときは、値を加算しないようにする。これを何回か繰り返し行うことで、正しい対象領域が求められる。

## 2.4 画像合成

対象領域、背景領域のそれぞれについて、移動分を補正して画素毎に平均を取ることで合成画像  $\hat{I}(x, y)$  を得る。ただし、背景領域であっても対象が移動してくることがあるので、そのときの値は無視するようにする。

## 3 実験結果

上述のアルゴリズムを高フレームレートカメラで撮影した動画像に対し適用した。用いたカメラは Basler A504k で、1000 fps で撮影した画像を 500 枚用いた。事前に固定パターンノイズやカメラ特有の周期的横縞ノイズ、縦縞ノイズは除去し、極力ランダムノイズのみが残るようにした。

Fig. 1 に、入力動画像の基準フレームにおける画像と、基準フレームに合わせて全フレームの画像を合成した結果を示す。対象領域の抽出により、対象と背景のどちらもぶれずに合成されていることがわかる。

基準フレームをずらしながら合成を繰り返すことで、動画像から動画像への変換も可能である。Fig. 2 に先の実験と同じ動画像を用いて動画像から動画像への変換を行った結果を示す。

## 4 おわりに

高フレームレートカメラで撮影した連続画像を合成することで高画質の画像を得る手法を提案した。対象領域の抽出により、対象と背景のどちらもぶれずに合成することができた。また、基準フレームをずらしながら合成を繰り返すことで、動画像から動画像への変換を実現した。他手法との比較やより低 S/N の画像にも適用できるようにすることが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] T. Komuro, Y. Watanabe, M. Ishikawa, T. Narabu: High-S/N Imaging of a Moving Object using a High-frame-rate Camera, Proc. 2008 IEEE Int. Conf. on Image Processing (2008, to appear)
- [2] S. Baker, I. Matthews: Lucas-Kanade 20 Years On: A Unifying Framework, Int. J. Computer Vision, Vol. 56, No. 3, pp. 221-255 (2004)