



## 2008 年度上期未踏 IT 人材発掘・育成事業(未踏ユース)採択案件評価書

### 1. 担当PM

笥 捷彦 PM(早稲田大学 基幹理工学部 情報理工学科 教授)

### 2. 採択者氏名

チーフクリエイター: 高橋 賢治(静岡大学大学院工学研究科 大学院 1 年)

コクリエイター: なし

### 3. プロジェクト管理組織

株式会社 メルコホールディングス

### 4. 委託金支払額

2,995,721 円

### 5. テーマ名

GPU を用いた映像のリアルタイム手ぶれ補正ソフトウェアの開発

### 6. 関連Webサイト

なし

### 7. テーマ概要

本ソフトウェアは、PC を利用した映像の手ぶれ補正を行います。

専用のハードウェアではなく、汎用のハードウェアである GPU の並列処理による高速演算を利用して処理速度を向上させ、低コストかつリアルタイムでの映像の手ぶれ

補正を実現することを目的とします。入力映像だけをもとに手ぶれ補正を行うので、直接カメラから入力された画像だけではなく、たとえば手ぶれが激しく見るに堪えなかった運動会で撮ったビデオなど、過去に録画した動画にも補正を行うことを可能にしています。

手ぶれ補正の手法は、カメラの移動量であるグローバルモーションを求め、それを基に振動補正を行います。振動を除去したカメラの動きは緩やかで滑らかなものであると仮定し、求めたカメラの移動量をガウス関数を用いて滑らかにすることによってゆれを軽減します。また、振動補正によって発生した未定義領域をモザイクングを用いて補間します。加えて、撮影の際生じた手ぶれによる画像のボケであるモーションブラーを取り除きます。

本ソフトウェアでは、グローバルモーション推定とモザイクングについては GPU への実装を完了しています。これにより、入力するビデオ映像のサイズが  $320 \times 240$  ピクセルにおいて約 40fps となり、リアルタイムを達成しています。

本事業期間中においては、本ソフトウェアを改良、発展させ、さらなる計算時間の高速化を図るとともに、リアルタイムを保ったままにモーションブラー除去を行うことを目標としています。

## 8. 採択理由

カメラの振動(手ぶれなど)によるぶれが入った動画画像から、ぶれの分を除去し、さらにブラーが入っている分までも除去してしまうソフトウェアを開発するプロジェクトである。市販のビデオカメラにも手ぶれ除去機能は入っているが、それが無いカメラ(たとえば安価なウェブカメラ)で撮った動画であっても、直ちにぶれを除去できてしまうソフトウェアは有用なツールになるに違いない。手ぶれ除去がまだ組み込まれていなかった頃のビデオカメラで撮った動画ストックも家庭にたくさんあるに違いない。それらを簡単に除去してしまえとなればその恩恵に与れる人も多いに違いない。

ぶれの除去については、GPU を活用して、すでに「実時間」に相当する短時間でその処理を実現している。模型の自動車にウェブカメラを積んで、野路を走らせてとった動画映像をたちまちにぶれの無いものに仕上げってしまう様子をオーディションでもプレゼンの中で見せてくれた。

未踏ユースの開発期間中には、さらに“ぶれ”の除去の速度をあげることに加えて、モーションブラーの除去に注力する。こちらはアイデアこそ固まっているものの、実験を含めてその開発はこれからであるが、ぶれ除去で見せた力量からして、高い成果が得るものと期待している。

## 9. 開発目標

つぎの2項目の機能実現を目標とした。

- ・ ホームビデオでの標準サイズである 640×480 ピクセルの映像に対してもリアルタイムで手ぶれ補正を行う。
- ・ 同じ条件下でモーションブラーの除去も行う。

## 10. 進捗概要

開発開始の時点で、すでに 320×240 ピクセルの映像の手ぶれ補正をリアルタイムで行うことができていた。それをさらに4倍に高速化することは、簡単に達成できていた。それに加えて、画像の動き補正をおこなった結果生じる未定義領域を補完するためにモザイクングを施す工夫も早い時期に仕上げた。

残る時間をあてて、今回の開発の大きな柱であるモーションブラーの除去の実現に取り組んだ。モーションブラーの除去についても、標準的な PC の上でリアルタイムに行えることを目標として様々な工夫をこらした。最終的に、十分なモーションブラー除去機能を目指してリアルタイムで実現することに成功している。

当初たてた開発計画の中でこれだけの成果を上げることに成功したことは特筆に値する。

## 11. 成果

標準的な PC の上で、ホームビデオでの標準サイズである 640×480 ピクセルの映像に対して、リアルタイムで手ぶれ補正と、実用上十分なレベルでのモーションブラー除去も行うソフトウェアを開発した。このソフトウェアは、CPUとGPUとを組み合わせ実行する形で作られている。

手ぶれ補正機能は、つぎの手順によって実現されている。

- ・ まずカメラの移動量を求めるグローバルモーションを行う。
- ・ それを基に振動補正を行う。このとき、振動を除去したカメラの動きは緩やかで滑らかなものであると仮定し、求めたカメラの移動量に対し、ガウス関数を用いて滑らかにすることによってゆれを軽減する。
- ・ 振動補正によって未定義領域が発生するため、補間処理であるモザイクングを行う。

具体的には、時間軸の上で隣り合う二つ画像の変化がアフィン変換になっていると仮定して、一方の画像にアフィン変換を施したものと他方の画像との二乗誤差が最小

になるようなアフィン変換を求める。このとき、そのアフィン変換を施した結果、二つの画像間で対応がとれないピクセルが生じる。それらのピクセルを外して計算を行う部分で工夫が施されている。また、画像の変化をもたらしたアフィン変換は、並行移動と回転とからだけで構成されると仮定して解を求めることによって高速化を行っている。こうして隣り合う画像から得られるアフィン変換の列が、カメラの振動(手ぶれ)に対応しているものとして、その補正を行う。

モーションブラーの除去には、フーリエ変換を用いる方法と、アンシャープマスクによる方法の二つを使っている。

まず、フーリエ変換による方法を説明する。モーションブラーのはいっていない画像を  $f(x)$ 、モーションブラーに相当するにじみを表す関数 psf (point spread function) を  $h(x)$  とすると、モーションブラーの入った画像  $g(x)$  は、二つの畳み込み  $*$  を使ってつぎのように表される。

$$g(x) = \sum_x f(x)h(x - \xi) = f(x) \star h(x)$$

これらの関数にフーリエ変換  $F$  を施してえら得る関数をそれぞれ  $G(u)$ ,  $F(u)$ ,  $H(u)$  とすると、次の等式を得る。

$$G(u) = \mathcal{F}\{f(x) \star h(x)\} = F(u)H(u)$$

したがって、 $h(x)$ (したがってまたそのフーリエ変換  $H(u)$ ) が推定できれば、フーリエ変換の上で割り算を行うことで、 $F(u) = G(u)/H(u)$  として計算できるから、そのフーリエ逆変換によって  $f(x)$  を求めることができる。なお、このとき  $H(u)=0$  であるとその割り算が行えない。対策として、条件分岐法と Wiener フィルタを用意している。条件分岐法は、 $H(u)=0$  のときは  $F(u)=A$  ( $A$  は適当な定数)として扱うもので Wiener フィルタは、わざと小さな誤差  $\Gamma$  を加えてつぎのように計算を行い、

$$F_w(u) = \frac{1}{H(u)} \frac{|H(u)|^2}{|H(u)|^2 + \Gamma} = \frac{\bar{H}(u)}{|H(u)|^2 + \Gamma}$$

その結果を  $F(u)$  として扱うものである。

別方法として、フーリエ変換での割り算を使わずに、 $g(x)$  と  $h(x)$  を使ってつぎの漸化式にしたがって反復計算して  $f(x)$  の近似値を求めるものがある。

$$f(x)^{(t+1)} = f(x)^{(t)} \sum_x \frac{g(x)}{\sum_y f(y)^{(t)} h(y - \eta)} h(x - \xi)$$

これはベイズの定理を用いたもので、Richardson-Lucy の逆畳み込みと呼ばれている。

さらに、Richardson-Lucy の逆畳み込みの除算に代えて減算を当てて

$$f(x)^{(t+1)} = f(x)^{(t)} + \alpha \sum_x \left( g(x) - \sum_y f(y)^{(t)} h(y - \eta) \right) h(x - \xi)$$

と計算する Iterative Back Projection 法もある。開発者は、これを  $\alpha = 1$  とおいたものを使っている。

フーリエ変換による方法では、これら四つの方式を適宜きりかえて使っている。

アンシャープマスクとは、元画像の平滑化したものを元画像から引いてやることで画像を鮮鋭化するものである。モーションブラーが特定方向に引き起こされたと仮定すると、その方向にそって画像の平滑化をおこなうことにすると、アンシャープマスクによってもモーションブラーの除去が可能になる。

さて、フーリエ変換による方法では、psfである  $h(x)$  が推定する必要がある。同様に、アンシャープマスクによる方法でも“モーションブラーを引き起こされた方向”を推定してやる必要がある。この推定を行うのにあたって、適切な評価関数を定めて、その最適化問題として扱うことにすればいいが、開発者は、その評価関数として、元の画像と補正後の画像との  $x$ -成分、 $y$ -成分についての3階差分の絶対値の総和を用いる方式を編み出し、良い結果をえることに成功している。この評価関数を用いる方法は、特許出願(特願2009-31418)されている。

この評価関数による最適化問題を解くには大きな計算量を要する。そこで、カメラの移動方向を直線であるものと仮定することで、時間軸上での画像列  $I_{-1}$ ,  $I_0$ ,  $I_{+1}$  に対して、 $I_{-1}$  と  $I_0$  の間の動き補正によって得られたグローバルな動きと、 $I_0$  と  $I_{+1}$  の間の動き補正によって得られたグローバルな動きとから、 $I_0$  での動きを推定することにし、カメラの移動距離  $L$  という1変数に関する最適化問題に帰着させることで所用の高速化を達成している。基本的には、高速処理が必要なときにはアンシャープマスクによる方法を用い、高品質のモーションブラー除去が必要なときにはフーリエ変換による方法をも用いることができるように、切り替えて当てはめる仕掛けになっている。

結果として、640 × 480[pixel](VGA) の動画において、動き補正で約 43[fps] の性能を達成している。また、アンシャープマスクによるモーションブラー除去では、32[fps] を実現している。

## 12. プロジェクト評価

プロジェクト提案の時点で、すでにその腕前を伺わせるデモを行っていた。プロジェクトの計画も、全体を見切った形のものであり、今回の重点項目であるモーションブラーの除去の実現に余裕をもってあたることができた。

このプロジェクトは、画像処理に関する数理工力と、その高速実現に関する技術力とが求められる。開発者は、もっていたそれらの力をこの開発期間中に大いに発揮し、その両者をうまく組み合わせることで目標を見事に達成した。

高速実現に関しては、GPU に対するプログラミングと CPU に対するプログラミングとを適切に組み合わせている。また、GPU プログラミングに対しては、GPU によるシェーダプログラミングに特化した言語 Cg を用い、GPU 向けの C 言語の統合開発環境としての CUDA(Compute unified device architecture)を用いて開発を行っている。適切な開発環境とプログラミング言語を使いこなすこともソフトウェア開発においては重要であり、この点においても、開発者は適切な選定を行っている。

目標実現に向けての、環境設定、開発計画立案、さらにその実行ということにおいて、見事にその総合力を発揮して、特段の専用装置をもいることなく、640 × 480 ピクセルの映像に対して、標準的な PC を使った手ぶれ補正およびブラー除去を実現してことは見事というほかはない。スーパークリエイターとするにふさわしいと判断する。

## 13. 今後の課題

開発したソフトウェアを世に出していく方法の一つとして、開発者は、手ぶれ補正・ブラー除去のサービス提供を行うことを上げている。ビジネスとしてとまでは要求しないが、慈善事業とならない範囲でそのサービスを提供する方法を編み出して欲しい。また、その特許とも絡めて、開発した手ぶれ補正・ブラー除去のソフトウェアが広く活用される道を見出してほしい。

また、更なる性能向上を目指して、ローカルモーション推定を組み合わせることで動画の中に動物体が存在しても、モザイクやモーションブラー除去において、より高品質な画像を生成すること、また、逆畳み込み演算においては、推定方法の改善やフーリエ変換の工夫により、計算速度を向上させることなどを実現に努めて欲しい。