

ブラインド画像復元の医用カメラへの応用およびリアルタイム復元システムの開発

Application of blind image restoration to medical cameras and development of a real-time restoration system



後藤 富朗 (Tomio Goto, Ph. D.)

名古屋工業大学大学院 情報工学専攻 准教授
(Associate Professor, Nagoya Institute of Technology,
Dept. of Computer Science)

IEEE 映像情報メディア学会 電子情報通信学会 他

受賞：IEEE Global Conference on Consumer Electronics Excellent
Poster Award (2022 年) .

CBEES Society DMIP 2018 Best Oral Presentation Award (2018 年) 他

研究専門分野：画像工学 画像認識 深層学習

あらまし

近年では、人工知能の研究課題の一つである機械学習による劣化画像の復元技術が注目を集めている。その中でも近年では深層学習による技術が盛んに行われており、画像分野以外でも様々な場面での応用が期待されている。特に、内視鏡などの医療分野では学習法による良好な結果が期待できる。内視鏡動画画像の場合、体内の奥に進むことにより生じる左右独立したぶれや臓器の収縮や弛緩により生じる部位ごとに独立した動きなど、デジタルカメラの撮影時とは違った特殊な状況に起因するぶれ劣化が考えられる。深層学習を用いた復元処理を行えば、そういった劣化動画画像に対しても良好な結果を得ることが期待できる。そこで本課題では、Tao らの検討 [1] を参考にし、学習法を用いた劣化画像復元の手法を提案する。最近の研究では、画像 [2] や動画 [3, 4] に対して高性能劣化画像復元技術が開発されており、その中でも Nah らの手法 [2] では、最先端の結果を出すことに成功している。彼らの手法は、小さいスケールの画像から始まり、原画像と等しいサイズまでの拡大過程の間に鮮明な画像を徐々に推定していく手法である。本課題では、非常に高い性能を実現しているこの手法を応用することによ

り、内視鏡画像に特化した手法を提案するとともに、リアルタイム処理を実現する。

1. 研究の目的

防犯カメラ映像や医療用カメラなど撮影環境によってぶれやぼけなどの画像劣化が生じる。画像劣化に対する補正手段としてカメラに内蔵された手ぶれ補正機能があるが、撮影された画質の劣化した映像の復元は不可能である。また、医療用カメラでは、手ぶれ補正機能をカメラに内蔵させることが困難である。そこで、画像処理を用いて劣化画像を復元するという試みが提案されている。一般的に、ぶれ・ぼけ劣化は鮮明な理想画像と点広がり関数（以下、PSF）の畳み込みで表現することができる。劣化画像 1 枚からの画像復元であるブラインドデコンボリューション^{*1}では、最小化問題を解くことで得られた PSF を用いて、鮮明な理想画像を復元する。しかし、PSF 推定誤りを原因とする復元失敗や雑音強調などの実用化への課題がまだいくつか存在している。本課題では、ブラインドデコンボリューションの高精度化・高速化アルゴリズムを提案し、医療用カメラへ応用することで、内視鏡カメラ撮影時のぼけ・ぶれ映像のリアルタイム補正を目指した。

2. 研究の背景

画像のぼけ・ぶれ補正に関する研究は古くから様々な研究者によってなされているが、劣化画像 1 枚から PSF および理想画像を推定するブラインドデコンボリューションは既知の劣化画像から未知の PSF および理想画像の 2 つを推定する必要がある、不良設定問題となり、解を得ることは特に困難な問題である。そこで、劣化画像から PSF を推定する問題 (k-step) と理想画像を推定する問題 (x-step) との 2 つのステップに分け、これらを交互に最適化することで復元画像を得る試みが成果を挙げている。この手法では、理想画像推定の際に Total Variation (以下、TV) 正則化^{*2}および Shock フィルタと呼ばれる非線形処理を適用することで、復元画像の高画質化を実現している。一般に TV 正則化処理は反復計算により導出されるため、処理時間が膨大なものとなる。そこで筆者らは TV 正則化の計算時間短縮手法を提案し、高速処理を実現した。しかし、劣化画像や PSF の特性によっては、復元に失敗し、

ブラインド画像復元の医用カメラへの応用およびリアルタイム復元システムの開発

Application of blind image restoration to medical cameras and development of a real-time restoration system

リングングやエッジのぶれが強調されるといったノイズが復元画像に混入することが問題となる。そこでこの問題を解決するためにノイズ除去処理をブラインド画像復元アルゴリズムに追加し、復元画像の高精度化を達成した。また、劣化画像から支配的なぼけ・ぶれ成分を自動的に抽出するローカルパッチという手法をアルゴリズムに組み込むことで、大幅な処理時間の高速化を実現した。しかし、これらの高速処理においてもリアルタイム処理は実現しておらず、実用化のためには、約20倍の更なる高速化が必要である。復元画像の画質改善に関しては、PSFの推定精度を向上させる必要があり、PSF推定の際に弊害となる雑音や細かな振動成分であるテクスチャ成分を除去することでPSFの推定精度の向上を実現した。しかし、内視鏡カメラ映像では、撮影部位によってぼけ・ぶれの特性が異なることが予想され、それらに応じた最適なパラメータの自動設定アルゴリズムの開発や処理速度の更なる工場が必要不可欠である。

3. 研究の方法

先行研究において本課題の基礎研究として、TV正則化手法とShockフィルタを組み合わせた手法は超解像画像復元においてとても有効な手法であり、従来がない高画質な超解像を実現できることが確認された(図1参照)。この手法をブラインド画像復元に応用することで、復元性能の大幅な改善が実現できることが重要なポイントとして挙げられる。また、先行研究において提案したブラインド画像復元手法では、劣化画像からPSFを推定する問題(k-step)と理想画像を推定する問題(x-step)に分離し、それぞれの処理において最適化を行い、更に処理全体を繰り返し処理することで高速に最適解を導出することが可能となっている。また、大きなぶれやぼけに対応するため、マルチ

スケール反復処理と呼ばれる処理を導入した。この処理の流れとしては、最初に入力画像をダウンサンプリングして画像サイズを小さくし、徐々に元のサイズまで拡大しながら交互反復処理を行い、スケール毎にPSF推定を繰り返すことで高速な動作および復元画像の画質改善を実現することができる。

(1) ブラインド画像復元法の性能評価

提案したTV正則化法とShockフィルタの組み合わせによるブラインド画像復元法がどこまでの高性能を有するものなのかを明確にし、他方式、特に近年注目されている学習法によるぼけ・ぶれ補正法との比較を行うとともに他方式のアルゴリズムで画質改善が行えるものを積極的に提案手法に取り込むことで更なる画質改善を目指した。

(2) 内視鏡カメラ映像へのブラインド画像復元法の適用

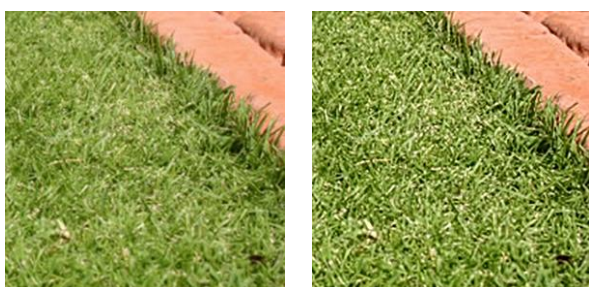
本アルゴリズムを内視鏡カメラ映像に適用し、ワークステーション上にハイビジョン動画の次世代型ブラインド画像復元システムを構築する。この際、手術での使用を想定し、ワークステーションには移動が可能なノートPC型のものを用いて設計を行い、様々な内視鏡カメラ映像に対するブラインド画像復元法の性能評価を行った。

(3) 内視鏡カメラ映像へのノイズ除去法の適用

本申請で提案するTV正則化を用いたノイズ除去法を内視鏡カメラ映像に適用させることで、提案法の有効性を示すとともにワークステーション上に実装したブラインド画像復元法にノイズ除去法を組み込むことで処理の高速化を図った。また、学習法によるノイズ除去アルゴリズムを実装し、比較することで処理速度や画質等の性能評価を行った。

(4) ブラインド画像復元処理の高速化

TV正則化手法およびShockフィルタのパラメータを最適化するアルゴリズムを開発し、復元画質性能を維持しつつ演算時間を従来法に比べ約1/10に改善した。その際、動画でのフレームの連続性を考慮し、PSF推定の際には前フレームの推定PSFを初期PSFとして用いることで、より高精度な推定を高速に行うことができた。



(a) 入力画像

(b) 超解像画像

図1: 超解像処理の例

ブラインド画像復元の医用カメラへの応用およびリアルタイム復元システムの開発

Application of blind image restoration to medical cameras and development of a real-time restoration system

(5) ワークステーション上でのリアルタイム処理の実現

ブラインド画像復元手法の種々のアルゴリズムの改良に取り組み、画質改善およびその計算時間を短縮し、ワークステーション上でのリアルタイム動作を実現した。

(6) GPUデバイス上でのリアルタイム処理の実現

プログラマブルロジックデバイス (GPUデバイス) を 4 台使い、並列に協調動作させることで、上記システムのリアルタイム動作の確認を行うとともに復元性能と処理速度の関係を明らかにした。

来法ではGoProテストセット画像2013枚のみを使用していたが、これに加えて5078枚の医用画像を学習画像とした。実験結果を図3に示す。図3より、従来法では画像全体にリングングが発生しているのに対し、提案法ではリングングが発生しておらず、客観評価においても改善されていることが確認できる。bais処理を行うことにより、復元性能を維持しながら、処理コストを削減することに成功した。

4. 研究成果

本研究で提案する内視鏡カメラ画像のブラインド画像復元システムのネットワーク構成図を図2に示し、本課題において得られた成果を以下の3項目に大別して示す。

(1) 内視鏡カメラ映像へのブラインド画像復元法の適用による復元性能の改善

図2に示すネットワーク構成のブラインド画像復元システムを構築し、学習画像として医用カメラ画像を用いて学習を行った。従

(2) ブラインド画像復元処理のGPUサーバ上でのリアルタイム処理の実現

本課題で提案したブラインド画像復元システムをGPUサーバ上に実装し、医用カメラ映像に対する処理性能について検証した。GPUサーバは本課題において購入した NVIDIA GeForce RTX 3090 Ti を2台使用し、CPU: Intel Core i7、メモリ: 32GB の構成のサーバ上に実装を行った。学習には非常に多くの時間を要する（学習画像の枚数や解像度に依存する）が、復元処理についてはリアルタイム

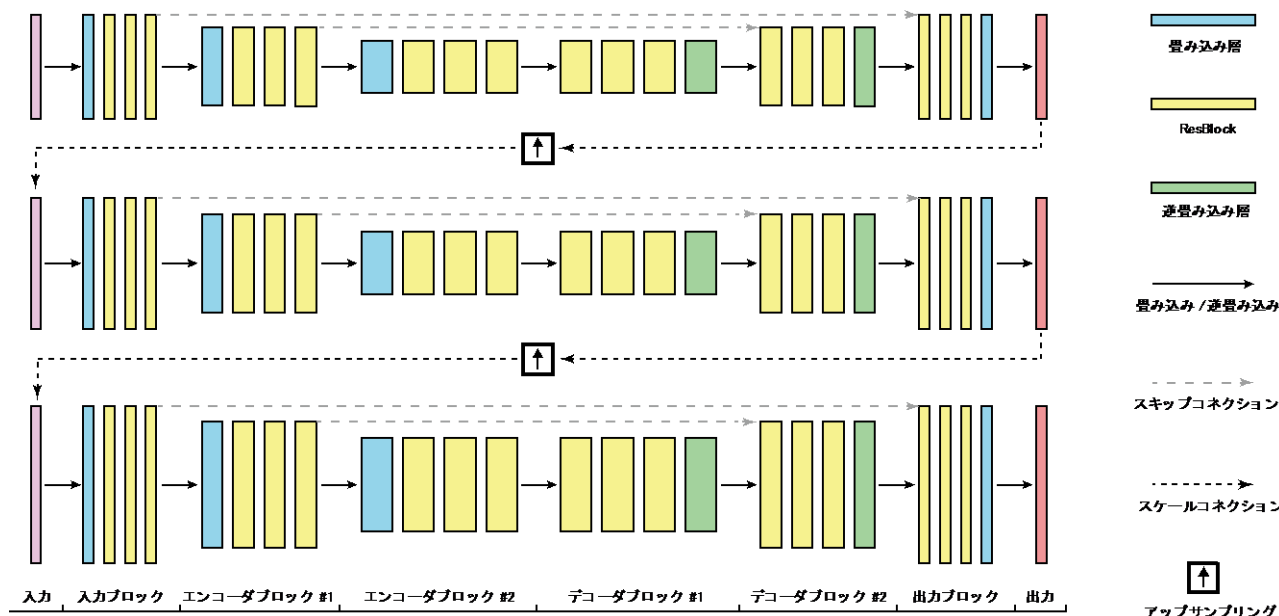


図2: ブラインド画像復元のネットワーク構成図

ブラインド画像復元の医用カメラへの応用およびリアルタイム復元システムの開発

Application of blind image restoration to medical cameras and development of a real-time restoration system

処理が実現できることを確認した。

(3) ブラインド画像復元処理のFPGA上でのリアルタイム処理の実現

本課題で提案したブラインド画像復元システムをFPGA上に実装し、医用カメラ映像に対する処理性能について検証した。FPGAとして、GPUサーバとの親和性の観点から、NVIDIA Jetson Xavier NX (CPU : ARM v8.2、メモリ : 8GB、GPU : NVIDIA Volta) を4台用いた。メモリによる制約はあるもののリアルタイム処理が実現できることを確認した。

5. 将来展望

本課題にて開発したブラインド画像復元のリアルタイム復元システムでは複数台のエッジデバイスを用いることで医用カメラでのぶれ映像をリアルタイムに復元することが可能となった。今後は手術現場での利用を目指し、1台の小型デバイスでのリアルタイム復元処理を実現することで、手術における内視鏡カメラでの実績を積み上げることで、様々な医療現場での利用を促進していきたい。

用語解説

*1 ブラインドデコンボリューション

劣化過程が未知の場合の画像復元手法のことであり、一般的に解を得ることが困難な復元手法である。

*2 Total Variation (TV) 正則化

非線形フィルタに分類される処理であり、画像に対してTV正則化処理を行うことで、骨格成分(画像の滑らかな明るさの変化やエッジを含む成分)とテクスチャ成分(細かく振動する物体表面上のざらついた成分)に分離することができる。

参考文献

- [1] X. Tao, H. Gao, X. Shen, J. Wang and J. Jia: “Scalerecurrent Network for Deep Image Deblurring”, International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 8174–8182, Feb. 2018.
- [2] S. Nah, T. H. Kim and K. M. Lee: “Deep multi-scale Convolutional Neural Network for Dynamic Scene Deblurring”, International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 3883–3891, 2017.



(a) 劣化画像 (36.84 [dB])



(b) 従来法 (21.03 [dB])



(c) 提案法 (38.74 [dB])

図3：医用画像による復元結果

ブラインド画像復元の医用カメラへの応用およびリアルタイム復元システムの開発

Application of blind image restoration to medical cameras and development of a real-time restoration system

- [3] T. Hyun Kim, K. Mu Lee, B. Scholkopf and M. Hirsch: “Online Video Deblurring via Dynamic Temporal Blending Network”, International Conference on Computer Vision (ICCV), pp 4038–4047, 2017.
- [4] W. Shi, J. Caballero, F. Huszar, J. Totz, A. P. Aitken, R. Bishop, D. Rueckert and Z. Wang: “Real-time Single Image and Video Super-resolution using An Efficient Subpixel Convolutional Neural Network”, International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp 1874–1883, 2016.

この研究は、令和3年度SCAT研究助成の対象として採用され、令和4～6年度に実施されたものです。

関連文献

1. I. Kojima and T. Goto: “A Study on Performance Improvement of Degraded Image Processing Using Learning Method”, IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 530–531, 2024.
2. S. Yasue and T. Goto: “Image Quality Improvement of Denoising Method based on DRUNet for Real Noise”, IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 528–529, 2024.
3. T. Goto: “Image Quality Improvement and Reduction of Parameters by Utilizing Learning-based Noise Reduction Method for Surveillance Camera Images”, International Conference on Intelligent Medicine and Image Processing (IMIP), pp. 74–78, 2024.
4. K. Kumagai and T. Goto: “Detecting Cars and Their States Utilizing Object Detection”, International Conference on Digital Medicine and Image Processing (DMIP), pp. 1–6, 2023.
5. K. Nakayama and T. Goto: “High Quality Digital Zoom using Learning Super-resolution”, International Conference on Digital Medicine and Image Processing (DMIP), pp. 18–24, 2023.