

令和元年6月24日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06078

研究課題名(和文) 確率的凸最適化アルゴリズムによる画像処理・伝送に関する研究

研究課題名(英文) Stochastic Convex Optimization Algorithm for Image Processing and Transfer

研究代表者

宮田 高道 (MIYATA, Takamichi)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：90431999

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、凸最適化および非凸最適化による画像復元手法と、それらにおける確率的最適化アルゴリズムの適用について検討した。主な研究テーマは、確率的凸最適化アルゴリズムによる画像のぼけ除去、および圧縮サンプリングからの画像復元、重み付きテンソル核ノルム、および重み付きテンソルシャッテン-pノルム最小化によるカラー画像復元と、当該手法への確率的最適化の適用法の検討、画像ノイズ除去によって失われたテクスチャの統計量推定に基づく推定であり、それらの成果は国際会議にて発表した。以上より、当初の研究目的を十分に満足したものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

画像からのノイズ除去やぼけの復元などを含む画像復元技術は、デジタルカメラやテレビなど社会のあらゆる場面で利用されている。近年、数理最適化を用いた画像復元手法が高い性能を持つことが明らかとなっているが、計算量が大きいためそれらの手法を実際に利用する際の課題となっていた。本研究は、計算量の削減を目指して提案された確率的最適化手法を、数理最適化を用いた画像復元技術に応用することを検討し、当該課題の解決を試みるものである。

研究成果の概要(英文)：We proposed new image restoration methods based on convex and non-convex optimization by using stochastic optimization approach. The main research topics are an image deblurring and restoration method from compressed sampling via stochastic convex optimization, a color image restoration method by weighted tensor nuclear norm minimization, a color image completion method by weighted tensor Schatten-p norm minimization, and a texture recovery method by statistics estimation for image denoising. We publish the results of these research topics at the corresponding international conferences.

研究分野：画像処理

キーワード：画像処理 凸最適化 確率的最適化 信号処理

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

画像処理、信号処理、機械学習などの分野では、凸性を満たす目的関数の最小化として問題を記述し、凸最適化アルゴリズムを用いることで当該問題を解くというアプローチが広く用いられている。問題を凸最適化の枠組み内で記述することには、発見的にアルゴリズムを得るアプローチと比較して、解の存在性や数値アルゴリズムの収束性等を理論的に保証することが可能であるという優位性がある。

既存の凸最適化アルゴリズムでは通常、徐々に解の近似精度を高める反復法によって解を得るアプローチが採用されており、発見的なアルゴリズムと比較して計算時間が長くなる傾向がある。また、問題によっては、問題のサイズ n に対して $O(n^2)$ のメモリが必要となることが多く、空間的、時間的スケーラビリティにはいまだ課題があるといえる。また、近年では 4K/8K に代表されるように静止画像・動画の高解像度化が進んでおり、これまでに広く研究されている凸最適化に基づく画像処理の手法をそのまま現実の問題に適用する場合には、前述の空間的・時間的スケーラビリティの低さが大きな問題となる。この問題が、凸最適化ベースのアルゴリズムが実際の製品等に適用されるうえでの大きな障壁となっている。

一方で、機械学習の分野では、入力データを逐次的に処理することにより、凸最適化問題を解くためのメモリを $O(n)$ に保つ確率的勾配法の利用が進んでおり、様々な問題に対して応用され一定の成果をあげている。これに対して、画像処理の分野では、問題の性質の違いなどの理由から、その利用例は極めて限定的であり、そのようなアプローチがどのような範囲の問題に対してどの程度有効であるのかについては、十分な議論がされているとはいえない状況であった。

2. 研究の目的

本研究課題では、高解像度画像の処理、伝送に対して、凸最適化に基づくアルゴリズムを適用可能とするために、最適化を用いた種々の画像処理手法について、確率的最適化アルゴリズムの適切な適用法を調査し新たなアルゴリズムを提案することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、凸最適化および非凸最適化による画像復元手法に対し、それらにおける確率的最適化アルゴリズムの適用について検討した。全体は以下の4段階に分かれている。

- (1) 確率的凸最適化アルゴリズムによる画像のぼけ除去、および圧縮サンプリングからの画像復元
- (2) 重み付きテンソル核ノルム、および重み付きテンソルシャッテン-p ノルム最小化によるカラー画像復元
- (3) 画像ノイズ除去によって失われたテクスチャの統計量推定に基づく推定
- (4) (2)、(3)における確率的最適化アルゴリズムの利用

4. 研究成果

- (1) 確率的凸最適化アルゴリズムによる画像のぼけ除去、および圧縮サンプリングからの画像復元

本テーマでは、画像の（非均一な）ぼけの除去、および圧縮サンプリングからの画像復元に、画像復元に確率的凸最適化アルゴリズムを適用することを検討した。これらの画像復元には、一般に反復を必要とするアルゴリズムが用いられており、その際に観測過程に含まれる行列（ぼけ復元の場合はぼけ行列、圧縮サンプリングの場合はランダムな観測行列）の演算が必要となり、このことが全体の計算量を増大させる原因となっていた。

提案した手法では、確率的凸最適化の一種である SDCA-ADMM を適用することにより、復元性能を損なうことなく計算量の大幅な削減に成功した。そのほか、確率的凸最適化が適用可能と思われる種々の画像処理・復元アルゴリズムを検討した。以上の成果は国際会議 [15] にて発表した。

- (2) 重み付きテンソル核ノルム、および重み付きテンソルシャッテン-p ノルム最小化によるカラー画像復元と、当該手法における確率的最適化の利用法の検討

本テーマでは、まず、画像復元の一つである画像ノイズ除去手法について検討を行った。グレイスケール画像のノイズ除去手法で高い性能を示す重み付き核ノルム最小化 (weighted nuclear norm minimization, 以下 WNNM) をカラー画像に拡張した手法では、カラー画像から抽出した類似パッチの集合をテンソルとみなし、このテンソルに対して重み付きテンソル核ノルム最小化を行うことでノイズ除去を行い、実験により既存手法と比

較して大幅に高いノイズ除去性能を持つことが示された。

さらに、行列のノルムの一種である重み付きシャッテン p ノルムをテンソルの復元のために拡張した重み付きテンソルシャッテン p ノルムを提案し、特にカラー画像信号の欠損復元において既存手法と比較して高い性能を持つことを示した。以上の成果は国際会議 [16] および国内の学会 [9] にて発表を行った。

- (3) 画像ノイズ除去によって失われたテクスチャの統計量推定に基づく推定、当該手法における確率的最適化の利用法の検討
前述の WNM では、その処理によってノイズだけでなく画像のもつテクスチャをも取り除いてしまう問題があった。本申請課題である確率的最適化を用いた画像復元を遂行する過程において、代表者らはこの課題に対する新たな解決法の着想を得た。代表者らはノイズ除去後の画像と観測画像の間の非自明な統計的關係を実験的に示し、この関係にもとづいて失われたテクスチャ成分の分散共分散行列を推定することで、当該成分の復元に成功した。以上の成果は国際会議 [10] にて発表した。
- (4) (2), (3) の手法における確率的最適化の適用
上記の (2), (3) について、確率的最適化により復元性能を向上させることができるかどうかを検討した。特に (2) については、分解したテンソルに対する処理を確率的に行うことで、計算量を大きく削減できる可能性が示されており、現在その成果を投稿する準備をしている。

以上のように、本研究では査読付き国際会議 4 件を含む 30 件の学会発表を行った。上記成果に加え、期間中には投稿が間に合わなかったものの、現在国際会議原稿 [10], [16] および国内会議 [9] を元にした雑誌論文 2 編を投稿準備中であり、多くの派生研究を生み出したことで本申請課題の目的は十分に達成されたといえる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕 (計 30 件)

- [1] 宮田 高道, 重み付きテンソル核ノルム最小化とその画像復元への応用について, 第 31 回回路とシステムワークショップ (招待講演), 2018
- [2] 湯澤 亮太, 宮田 高道, 構造画像の推定によるパッチベース画像補完の精度向上に関する基礎検討, PCSJ/IMPS, 2018
- [3] 齋藤 雄太, 宮田 高道, 知覚的品質に着目したノイズ除去画像のテクスチャの復元に関する一検討, PCSJ/IMPS, 2018
- [4] 永野 輝広, 宮田 高道, 量子化拘束を考慮した NN による JPEG 画像の質感復元, PCSJ/IMPS, 2018
- [5] 細野 海人, 宮田 高道, 重み付きテンソルシャッテン p ノルムを用いた色画像補完に関する基礎検討, PCSJ/IMPS, 2018
- [6] 小倉 嶺, 宮田 高道, 地中レーダによる空洞及び埋設管の計測データの取得と機械学習における有効性の検討, PCSJ/IMPS, 2018
- [7] 間宮 慶, 宮田 高道, 深層学習を用いた画像認識の前処理としての画像ノイズ除去手法の一検討, PCSJ/IMPS, 2018
- [8] 齋藤雄太, 宮田高道, ノイズ除去画像のテクスチャの知覚的復元に関する一検討, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 2018
- [9] 細野海人・宮田高道, 重み付きテンソル核ノルム最小化を用いた画像補完の性能改善に関する基礎検討, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 2018
- [10] Yuta Saito, Takamichi Miyata, Recovering texture of denoised image via its statistical analysis, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2018
- [11] 森山 達也, 宮田 高道, NN を用いた露出過度領域を含む単一 LDR 画像からの生成的 HDR 画像復元, PCSJ/IMPS, 2017
- [12] 松田 侑也, 宮田 高道, CNN を用いた構造画像推定とパッチベース手法の組み合わせによる画像インペインティングの基礎検討, PCSJ/IMPS, 2017
- [13] 齋藤 雄太, 宮田 高道, ノイズ除去画像とノイズ成分との関係に着目したテクスチャ成分の復元, PCSJ/IMPS, 2017
- [14] 細野 海人, 宮田 高道, 重み付きテンソル核ノルム最小化を用いた画像補完に関する検討, PCSJ/IMPS, 2017
- [15] Shunsuke Ono, Masao Yamagishi, Takamichi Miyata, and Itsuo Kumazawa, Image restoration using a stochastic variant of the alternating direction method of multipliers, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2016

- [16] Kaito Hosono, Shunsuke Ono, Takamichi Miyata, Weighted Tensor Nuclear Norm Minimization for Color Image Denoising, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2016
- [17] 細野海人, 小野峻佑, 宮田高道, Weighted tensor nuclear norm 最小化を用いた色画像ノイズ除去, PCSJ/IMPS, 2016
- [18] 大矢剛史, 宮田高道, 生成 NN による輝度画像の確率的自動カラー化の基礎検討, PCSJ/IMPS, 2016
- [19] 松田侑也, 宮田高道, 画像インペティグのため条件付き生成 NN の基礎検討, PCSJ/IMPS, 2016
- [20] 齋藤雄太, 宮田高道, テクスチャの統計的性質の推定によるノイズ除去画像の質感向, PCSJ/IMPS, 2016
- [21] 岩本 百合奈, 坂戸 佳美, 宮田 高道, パッチ間の重みを考慮した重み付き核ノルム最小化による画像ノイズ除去, PCSJ/IMPS, 2016
- [22] 白土 裕貴, 森川諒, 宮田高道, 局所変動の推定による超解像画像の質感復元, PCSJ/IMPS, 2016
- [23] Takamichi Miyata, Inter-Channel Relation based Vectorial Total Variation for Color Image Recovery, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2015
- [24] 大矢 剛史, 宮田 高道, 学習による輝度画像の自動 colorization の基礎検討, PCSJ/IMPS, 2015
- [25] 細野 海人, 宮田 高道, Weighted Nuclear Norm Minimization の色画像ノイズ除去への拡張に関する一検討, PCSJ/IMPS, 2015
- [26] 齋藤 雄太, 森田 裕佑, 宮田 高道, グラフベース変換を利用した色差画像符号化の基礎検討, PCSJ/IMPS, 2015
- [27] 台 明, 塩野 恭平, 阿部 萌斗, 宮田 高道, 超解像処理を施した自然画像の視覚的質感改善の基礎検討, PCSJ/IMPS, 2015
- [28] 宇治 護, 満田 寛紀, 宮田 高道, 最適化を用いた動画像の制約つきブレ除去の基礎検討, PCSJ/IMPS, 2015
- [29] 鈴木 達馬, 内田 和哉, 宮田 高道, 撮影支援を目的とした画像の美的評価値の向上に関する基礎検討, PCSJ/IMPS, 2015
- [30] 樋口貴広, 菊地 貴裕, 宮田 高道, ベンフォードフーリエ係数による Non-aligned 複数回 JPEG 圧縮の検出に関する基礎検討, PCSJ/IMPS, 2015

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。