

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23700194

研究課題名(和文) 適応的事前確率分布モデルを応用した高性能画像復元

研究課題名(英文) Image reconstruction with the adaptively learned image model

## 研究代表者

田中 正行(Tanaka, Masayuki)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：60401543

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：画像をパッチと呼ばれる小領域に分割し、パッチ毎に適応的にモデル化する手法を提案した。従来の手法では、そのようなモデル化は、一般に予め用意された学習データに基づきモデル化されており、学習データと対象画像の統計的性質が異なる場合、期待される成果が得られないという問題があった。そこで、本研究では、入力画像に基づき適応的にモデル化を行う手法を提案した。モデル化には事前確率のモデル化およびスパースコーディングの辞書を学習する方法を、それぞれ提案した。提案手法を画像のノイズ低減および画像超解像処理に適用し、従来手法よりも高性にノイズ低減および画像の高解像度化が行われることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this project, the image model which focuses on the image patch is proposed. In the existing algorithm, the model is learned with a training dataset. However, if the statistical properties of the training dataset is different from a target scene, an algorithm using that model cannot reach the good performance. In the proposed algorithm, the model is adaptively learned with the input image. The proposed algorithm is applied to the image denoising and the image super-resolution. The experimental results demonstrate that the proposed algorithm improves the performance of the image denoising and the image super-resolution.

研究分野：画像処理

キーワード：画像処理

### 1. 研究開始当初の背景

ぼけやぶれ、ノイズなどの要因により観測画像は劣化する。このように劣化した画像から劣化のない原画像を復元する画像復元の技術は、基本的かつ重要な画像処理技術である。また、ぶれ画像復元やノイズ低減ばかりでなく、複数枚の画像を利用して先鋭な画像を復元する超解像処理においても、基本的には同様の画像復元技術が利用されている。画像のデジタル化や計算機の高性能化を背景に、このような画像復元技術は、近年活発に研究が行われている。特に確率モデルに基づくMAP法(事後確率最最大化法)が広く利用されている。事後確率分布モデルは、尤度分布と事前確率分布の積の形式で表現される。このため、事前確率分布の推定が大きな課題となっている。

### 2. 研究の目的

研究代表者らのこれまでの研究により、適応的事前確率分布モデルを用い、パッチを対象にモデル化を行い、モデルパラメータを更新することにより、高性能な画像復元ができることが確認されている。一般化正規分布を利用してモデル化が行われている。また、確率的な方法ではないが、類似パッチを探索し、探索されたパッチに基づき、画像処理を行う方法が提案されている。そこで、本研究の第一の目的は、これまでの成果を、類似パッチを利用し、さらに多変量一般化正規分布を用いる方法へと発展させることである。

従来の事前確率分布モデルを応用した画像処理は、ぶれ画像復元や超解像にも応用可能であるにもかかわらず、ノイズ低減に関する研究がほとんどであった。一方、研究代表者らは、既に事前確率分布モデルに基づくぶれ画像復元の研究発表を行っており、超解像に関する多くの研究を行っている。そこで、第二の目的は、新しく提案する適応的事前確率分布モデルを、ぶれ画像復元および超解像に応用することである。

### 3. 研究の方法

本研究では画像の画質改善に対して、確率に基づくアプローチをとる。画像全体の事前確率モデルを推定するのは次元が大きすぎる。一方、一画素毎にモデル化するのでは、その表現能力に限界がある。そこで、画像をパッチとよばれる小領域に分割し、そのパッチ毎に事前確率を推定し、事前確率に基づき、画質改善を行う。

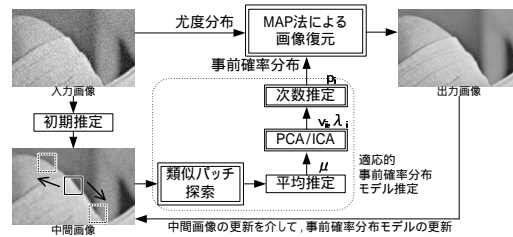


図1：パッチに基づく画質改善

特にこれまでの研究では、パッチの事前確率分布は、あらかじめ推定された1つの事前確率分布に基づき、処理されることがほとんどであった。しかしながら、実際の画像は、非常に複雑であり、1つの事前確率分布で表現することは困難である。

そのため、本研究では、図1に示すようにまず注目パッチに類似するパッチを画像から抽出し、抽出された類似パッチを利用して、多変量正規分布を用いて、モデル化する手法の検討を行う。

モデル化の手法として、事前確率分布のみならず、スパースコーディングによる検討も行う。スパースコーディングとは、信号を少数の非ゼロ要素を持つ係数と基底との線形結合により表現する方法である。このスパースコーディングは、基底集合の設計が非常に重要であることが知られている。この基底集合は、辞書とよばれ、画像の1つのモデルとも考えられる。画像復元の場合、パッチをスパースコーディングにより表現し、それぞれのパッチを合成することにより、画像復元が行われる。ところでスパースコーディングにおいては辞書の設計が非常に重要であることが知られている。従来の手法では、この辞書はあらかじめ用意された学習データに基づき、学習されていることが多い。しかしながら、学習されたデータと実際の目的の画像との統計的な性質が異なっている場合に、画質改善の効果が高く望めない。そのため、入力画像のみから辞書を適応的に学習する方法の研究が進められてきた。ところが、画像解像度を改善する超解像処理へ応用する場合、入力画像と出力の画像の解像度が異なっているため、適応的な辞書学習が行われていなかった。本研究課題ではそのような超解像の場合であっても、効果的に適応的学習を行う方法の検討を行う。

#### 4. 研究成果

パッチの事前確率を局所適当的に推定する手法の開発を行った。特に画像のデノイジング問題への応用を検討した。デノイジングでは、入力画像にノイズを含んでおり、類似パッチを抽出することが困難であるという課題がある。そこで、まず、ノイズを考慮しながら類似度を推定する方法や、大きな特徴にのみ着目した類似度計算、プリフィルタの活用を検討した。詳細な検討の結果、プリフィルタにより、ノイズを低減してから、類似度評価を行うことに非常に効果的に類似パッチを抽出でき、高いデノイジングの効果を得られることが確認された。プリフィルタには入力画像から求められる KL 展開し、その計数を Hard-thresholding する方法を提案している。

このようにして、抽出された類似パッチに基づき、主成分分析を行うノンローカル主成分分析を提案している。一般に、注目パッチ近傍のパッチのみに着目して解析が行われることがあるが、本提案手法では、空間的な位置を限定せず、類似性の高いパッチを利用することに大きな特徴がある。局所的に主成分分析を行うことにより、適応的な解析が行われ、その解析に基づき、ウィナーフィルタの考え方を応用し、デノイジングを行う。提案手法によりデノイジングされた画像を PSNR で評価を行った。PSNR は真の画像に近ければ近いほど大きな値を示す指標である。まず、グレイ画像に対してその効果を確認した。0~255 の画素値を有する画像に対して、ノイズレベルを 10 に設定したとき、従来法の PSNR が 35.69 [dB]であるのに対して、提案手法の PSNR は 35.91 [dB]であり、PSNR の改善が確認される。また、同様の手法をカラー画像に対して応用した。高性能であると知られている CBM3D と比較した。ノイズレベルが 10 のとき、CBM3D の PSNR が 34.50 [dB]であるのに対して、提案手法の PSNR が 34.87 [dB]であり、PSNR の値が改善していることが確認される。

ノンローカル主成分分析という新しい画像の解析方法を提案し、その解析手法をノイズ低減に応用した。提案手法は、理論的にわかりやすく、考え方がシンプルであるにも関わらず、既存の高性能な手法と少なくとも同程度の性能が示すことが確認された。

適応的辞書学習を応用したスパースコーディングに基づく超解像処理の検討を行った。超解像処理とは、画像の解像度を控除させる

手法であり、様々な分野で応用が期待されている。本研究では、一枚の画像のみを利用した超解像処理を検討した。

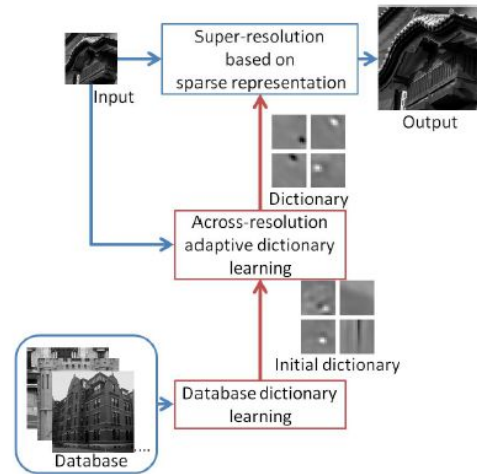
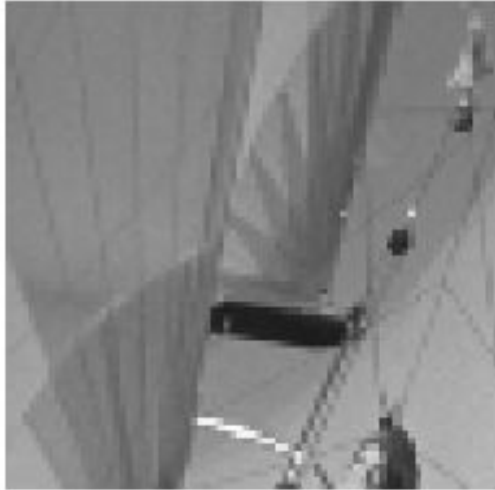


図 2：提案手法概要

図 2 に提案手法の概要を示す。まず、学習用データに基づき、初期辞書を生成する。従来手法では、この初期辞書を用い、スパースコーディングによる超解像処理が行われていた。一方、提案手法では、この初期辞書を初期値として、入力画像から生成されたパッチに基づき、辞書を更新し、更新された辞書を用いて、超解像処理を行うことを特徴とする。これまで、入力画像と出力画像の解像度が異なるため、入力画像を用いて超解像処理を行うためのスパースコーディングの辞書を学習することは不可能であると考えられてきた。しかしながら、本研究において、解像度が異なったとしても、自然画像には冗長性があり、超解像処理のための辞書学習が十分行えることを示した。

また、入力画像から単純に生成されたパッチからではデータが不十分であるため、入力画像の画素値を補間せず、ミラーリングや45度回転させることにより、学習データの数を増加させる方法も提案している。

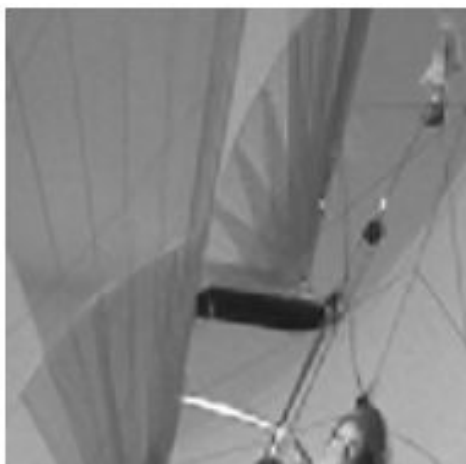
このような処理を行うことにより、画像の解像度を向上させることに成功した。図 3 に処理結果の一例を示す。図 3 (a) の入力画像では解像度が小さく、画素の形が確認できる。一方、図 3 (b) の従来手法では画素の形は確認できないもののエッジがなままっている。図 3 (c) の提案手法によりエッジの先鋭さを保ったまま、解像度が向上していることが確認される。



(a) 入力画像



(b) 従来手法



(c) 提案手法

図3：提案手法の効果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

山内啓大朗, 田中正行, 奥富正敏, ノンローカル PCA に基づく画像デノイジング, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.3, pp.389-398, March, 2013.

〔学会発表〕(計 6 件)

田中正行, 自然画像と雑音の統計的性質に基づく画像処理, 視覚情報学講演会 ~ コンピュータビジョンと光計測の接点 ~ (招待講演) 2015 年 1 月 9 日, 大阪電気通信大学 (大阪府).

YingYing Fan, Masayuki Tanaka and Masatoshi Okutomi, A classification-and-reconstruction approach for a single image super-resolution by a sparse representation, Proceedings of IS&T/SPIE Electronic Imaging (EI2014), Vol.9023, pp.902312-1-6, February 2nd, 2014, San Francisco (USA).

Xinhao Liu, Masayuki Tanaka and Masatoshi Okutomi, Signal Dependent Noise Removal from a Single Image, Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2014), pp.2679-2683, October 29th 2014, Paris (France).

Masayuki Tanaka, Ayumu Sakurai and Masatoshi Okutomi, Across-resolution adaptive dictionary learning for single-image super-resolution, Proceedings of IS&T/SPIE Electronic Imaging (EI2013), Vol.8660, pp.866007-1-9, February 4th, 2013, San Francisco (USA).

櫻井歩, 田中正行, 奥富正敏, 自己相似性に基づく適応的基底学習による一枚超解像, 第 15 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2012) 論文集, pp.IS1-13-1-8, 2012 年 8 月 6 日, 福岡国際会議場 (福岡市).

櫻井歩, 田中正行, 奥富正敏, 一枚超解像のための自己相似性に基づく適応的基底学習, 第 18 回画像センシングシンポジウム (SSII2012) 講演論文集, pp.IS3-20-1-7, 2012 年 6 月 8 日, パシフィコ横浜 (横浜市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 正行 (TANAKA, Masayuki)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：00262303

