2R-09

スパース符号化および辞書学習のアルゴリズム組み合わせに関する数理的考察

三國 承孝 †　　河合 新 †　　延原 肇 †
† 筑波大学大学院システム情報工学研究科知能機能システム専攻

1 はじめに

低解像度画像を高解像度化させる超解像技術が、近年注目を集め様々な分野で取り入れられてきている [1]。超解像技術には大きく分けて 2 つの方式があり、1 つはフィルタ型超解像 [2]、もう 1 つは辞書型超解像 [3] である。本論文では、比較的計算時間がかかるが、高い超解像画像の品質を実現することのできる辞書型超解像に着目する。さらに辞書型超解像の中でも、辞書容量を軽量化する特徴を持つ、スパース表現に基づく辞書型超解像に着目する [4]。この手法の超解像過程では、スパース符号化アルゴリズムと辞書学習アルゴリズムの 2 つのアルゴリズムを利用しており、これらのアルゴリズムの選択が画像を高解像度化させていくにおいて重要なポイントである。本研究では、この中核となる 2 つのアルゴリズムとして、どれを選択するのがよいのかを実験的に解析する。スパース符号化アルゴリズムとして、OMP、CoSaMP また、辞書学習アルゴリズムについては、K-SVD, AK-SVD の 2 つに着目し、それぞれ 4 種類の組み合わせについて性能比較を行い、それぞれの親和性等についての数理的考察を示す。

2 スパース表現に基づく辞書型超解像

2.1 スパース符号化に基づく超解像の概要

一般に、辞書型超解像はフィルタ型に比べて高精度な結果が期待できる一方で、画像パッチのペアを辞書として格納するために、多くの記憶容量が必要になる。この記憶容量を抑制するための手法として、スパース表現に基づく辞書構成法が提案されている。ここで、スパース性とは、ほとんどの要素が 0 である性質を示し、そのような性質を積極的に利用しコンパクトな辞書を構築するのが、スパース表現に基づく辞書型超解像となる。スパース表現に基づく辞書型超解像は、図 1 に示す辞書作成過程とその後の超解像過程からなる。

2.2 種々の辞書更新法：K-SVD と AK-SVD

辞書更新法として、種々の方法が提案されているが、本研究では K-SVD と AK-SVD に着目する。K-SVD（K-Singular Value Decomposition）[5] は、スパース表現ベクトルと辞書を特異値分解 (SVD) を用いて同時に更新する辞書更新法である。

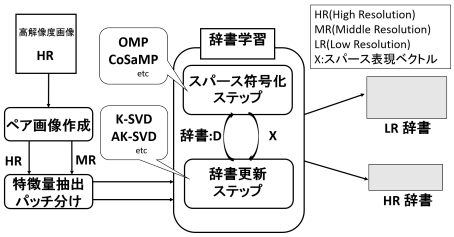

図 1: 辞書作成ステップ

一方、AK-SVD（Approximate K-Singular Value Decomposition）[6] は、スパース表現ベクトルと辞書を近似的な計算によって、別々に、かつ交互に反復して更新する辞書更新法である。それによって、AK-SVD は K-SVD に比べて計算時間を短縮できる。

2.3 種々のスパース符号化法 OMP と CoSaMP

OMP は, 1-スパースのベクトルでの最小化問題を部分問題として繰り返す方法である。局所的な最適化を繰り返すことにより, 最適解へ近付けるような方法がマッチング追跡である。これに直交性のアイデアを使って次の回以降は選択しないように実現したものを直交マッチング追跡 (orthogonal matching pursuit, OMP)[7] と呼ぶ。

上記で考察した直交マッチング追跡のアルゴリズムに非ゼロ要素の個数を決めた 以下の最適化問題を解くための食欲アルゴリズムを圧縮サンプリングマッチング追跡 (compressive sampling matching pursuit, CoSaMP)[8] と呼ぶ。

これらの最適化問題は非凸であり, このアルゴリズムはいずれも局所最適解への収束しか保証されないが, 実用上は使えるアルゴリズムとなっている。

3 解析実験

辞書学習アルゴリズムである K-SVD と AK-SVD, そしてその過程で用いられるスパース符号化のアルゴリズムの OMP と CoSaMP のそれぞれを組み合わせによる精度や実行時間を計測する。なお、本論文では CoSaMP での非ゼロの個数は 3 とする。

図 2 に示す原画像を、3 倍超解像 (図 3) するという条件で実験を行い、計算時間として辞書作成時間（DICT-time）と超解像に必要な計算時間（TESTtime）を計測

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

図 2: 原画像

図 3: 超解像画像

する。超解像品質としては、超解像後の画像と原画像の間の RMSE、PSNR、SSIM、および FSIM を指標として計測する。

表 1: 4 種類の組み合わせ

	OMP AK-SVD	OMP K-SVD	CoSaMP AK-SVD	CoSaMP K-SVD
DICTtime	78.76	95.54	111.1	134.2
RMSE	13.50	13.85	13.60	17.53
PSNR	25.52	15.30	25.46	23.26
SSIM	0.8080	0.7963	0.8045	0.6813
FSIM	0.8546	0.8514	0.8557	0.8039
TESTtime	2.793	2.597	3.732	3.897

結果として、K-SVD に比べて AK-SVD のほうが精度が高かった。これは、AK-SVD は 1 回の試行でスパース表現ベクトルと辞書を交互に反復して求めるため、スパース表現ベクトルと辞書を掛け合わせた超解像画像と原画像との誤差をその都度、調整しているのではないかと考えられる。

また、CoSaMP に比べて OMP は辞書作成時間及び画像構成時間が短く、精度も高くなった。OMP の方がよい精度を示したのは、OMP がスパース符号化における最良近似を射影作用素によって求めているのに対し、CoSaMP は人間の手により非ゼロの個数を調整し、その条件の下で最適化を行っているためと考えられる。一方、単純に誤差の少ないスパース符号化を行いたいのではなく、ある程度条件を与えたい場合には、CoSaMP は非ゼロの個数を自分自身で決定できるため優良な方法になり得る。

4 おわりに

本論文では、辞書更新法である K-SVD と AK-SVD, スパース符号化法である OMP と CoSaMP を取り上げ、それぞれを組み合わせて精度や時間等の計測を行った。結果として、時間や精度の観点から最も良かった組み合わせは AK-SVD と OMP の組み合わせであった。ただし、用途や目的によっては AK-SVD と CoSaMP の組み合わせも十分な性能を示した。

参考文献

[1] 小松隆, 近藤崇吾, and 齊藤隆弘. “仮想多重撮像と超解像ぼけ復元を用いた超低照度ポアソン-ガウシアンカラー動画像の復元.” 電子情報通信学会論文誌 D 99.9 (2016): 879-883.

[2] Hong Chang, et.al ”Super-resolution through neighbor embedding” Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference

[3] S.Senda, et.al “ 高倍率・高精細を実現する事例ベースの学習型超解像方式”NEC 技報 65.2 (2012): 73-76

[4] M.Haris, et.al “Super-Resolution for UAV Images via Adaptive Multiple Sparse Representation and its Application to 3D Reconstruction ”IEEE Transaction On Geoscience And Remote Sesing

[5] M.Aharon, et.al “K-SVD: An Algorithm for Designing Overcomplete Dictionaries for Sparse Representation ”IEEE Transactions On Signal Processing, Vol. 54, No. 11, November 2006.

[6] R.Rubinstein, et.al “Efficient Implementation of the K-SVD Algorithm using Batch Orthogonal Matching Pursuit ”Technion - Computer Science Department - Technical Report CS-2008-08.revised - 2008.

[7] Y.C.Pati, R.Rezaiifar, and P.S.Krishnaprasad, “Orthogonal matching pursuit: recursive function approximation with applications to wavelet decomposition,” in Proc. the 27th Annual Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers, pp.40-44, Nov.1993.

[8] D.Needell and J.A.Tropp, “CoSaMP: Iterative signal recovery from incomplete and inaccurate samples,” Appl. Comput. Harmonic Anal., vol.26, no.3, pp.301-321, 2008

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.