

令和元年6月10日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04362

研究課題名（和文）グラフ信号処理によるスパース符号化：センサ群より得られた大規模時空間データの解析

研究課題名（英文）Sparse coding with signal processing on graphs

研究代表者

田中 雄一（Tanaka, Yuichi）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：10547029

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究における成果として代表的なものは、大規模時空間データをスパースに表現するための高速グラフサンプリング手法および大規模行列特異値処理手法である。高速グラフサンプリング手法においては、グラフ信号処理の知見を利用し、グラフ局所性作用素を用いたサンプリング手法の提案を行った。本手法は従来手法と比較して最大数千倍高速であり、データの復元精度も優れている。大規模行列特異値処理に関しては、デジタルフィルタ設計等に用いられるチェビシェフ多項式近似を用いることで、陽に行列分解をすることなしに特異値処理された行列を算出できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Society 5.0の実現のためにはIoTから得られるビッグデータを効率よく処理する必要がある。本研究の成果は、ビッグデータ解析に対して（グラフ）信号処理の立場から非常に効率的なアルゴリズムを提案したことに学術的意義がある。同時に、今後ますます需要が増すビッグデータを利用したAIに対し、実用的にも大きな一歩となることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：With this grant, we achieved a fast graph sampling method and large-scale singular value thresholding without matrix decomposition.

We employed knowledge of graph signal processing for graph sampling. Particularly, we apply graph localization operators to determine the sampling set. The proposed method is significantly faster than the alternative methods. The signal reconstruction quality of the proposed method also outperformed the existing approaches. For singular value thresholding, we utilized Chebyshev polynomial approximation for the thresholding. We presented that the singular values can be processed without an explicit matrix decomposition.

研究分野：信号情報処理

キーワード：グラフ信号処理 機械学習 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

気温・気圧・照度・地磁気・加速度等の環境情報を取得するためのセンサは非常に小型・安価になり、情報のセンシングやモニタリングに対し新しい地平を切り開いた。このハードウェア微細化技術の発展により、超多数の超小型センサによってあらゆる情報を取得することが可能となった。大規模センサ群より得られたデータからの知識発見や特徴抽出は、Internet of Things (IoT)、行動認識、マルチエージェントシステム、センサネットワークを含む広範な分野で必要とされる技術であり、そのための基盤となる高速かつ効率的な保存・異常検知・パターン認識・可視化手法等が求められている。

この空間的・時間的に不均一に分布する大量のセンサの「群れ」から取得されるデータは、将来的にはペタバイト～ゼタバイト級のサイズとなることが予想されるため、複雑・大規模センシングデータの効率的な解析・伝送のためには、データをできる限りスパース（疎）に変換する手法と、それをういてデータを圧縮するアルゴリズムの双方に対する革新的な技術が不可欠である。

前述のとおり、複雑なネットワーク上に存在するデータにおいては、上記の仮定が普通成り立たないため、従来利用されてきた信号処理技術・ツールを用いて複雑データをスパースに表現することは非常に困難である。また、大規模ネットワークの解析は計算機科学の主な研究分野の一つであるものの、その大部分が（ネットワーク上のデータではなく）ネットワーク自体の解析を目的としている。そのため、複雑・大規模データのスパース表現のためには、ネットワーク構造を内包した信号処理の観点から新しい理論的枠組みを構築する必要がある。さらに、スパース表現を利用した複雑・大規模・動的データの圧縮は、行動認識のためのデータのオフライン解析や、スマートグリッド内における情報伝送等で今後大きく求められる技術であると見える。

2. 研究の目的

以上の背景を元に、本研究では複雑・大規模センシングデータのスパース表現のための理論と応用に関する研究に取り組んだ。

3. 研究の方法

本研究では、複雑・大規模センシングデータのスパース表現理論の構築をまず行い、その後理論を利用した複雑・大規模データの修復や圧縮への応用に関するアルゴリズムを構築した。また、計算機実験を行い提案手法の有効性を検証した。

4. 研究成果

本研究における代表的な成果を抜粋して以下に述べる。

(1) グラフの高速なサンプリング手法

IoT（センサネットワーク）や機械学習に用いられる複雑・大規模データは、その計測値や特徴量が一般には格子点上に分布していない。また、これらの値は空間的・機能的な関係性ネットワークを持つ。ネットワーク上に存在するデータの処理は次世代の信号処理理論において核となる部分である。

一方で、これらの大規模データを直接保存・処理することはストレージや計算速度の面から好ましくない。つまり、できるだけ原データの情報を保持したままデータサイズを減少させることが望まれる。従来のデジタル信号処理では、これは信号のサンプリング（間引き）として実現される。一方で前述したようなネットワーク上のデータに関しては、サンプリングし、保持する要素は一意には求まらない。つまり、なんらかの評価関数を用いて、「良い」要素の集合を求める必要がある。

本研究においては、グラフ信号処理の枠組みを用いて、複雑データに対して高速なサンプリング手法を提案した。提案手法はグラフ局所性作用素というグラフ信号処理における一種のフィルタを利用し、この作用素がグラフの頂点を覆う範囲ができるだけ広くなるようにサンプリング集合を求める。さらに、従来信号処理・機械学習手法で必要であった大規模行列の固有値分解を完全に不要とするアルゴリズムも合わせて提案した。

本手法により、従来手法と比較して最大で数千倍程度高速にサンプリング集合を計算できることを実験的に示した。また、サンプリング集合上の要素から取り除いた要素を補間した場合の誤差も、従来手法と比較して大幅に少ない。

本成果は信号処理分野の一流論文誌である IEEE Transactions on Signal Processing や、フラッグシップカンファレンスである ICASSP へ採録された。

(2) 大規模行列の特異値処理の高速化

複雑・大規模データを実際に計算機で処理する場合には、データをベクトルとして表現し、線形処理は行列（＝フィルタ）とベクトル（＝データ）の演算とすることが多い。また、近年の最適化理論・アルゴリズムの発展に伴い、この行列の逆行列を求めたり、特異値を閾値処理したりしなければならない状況が多く発生する。一方で、単純に行列の固有値や特異値を求めるためには、一般に行列サイズの 3 乗オーダーの計算量が必要となり、データのサイズが大きくなるに連れて爆発的に計算量が増加す

る．例えば現状の PC 等では行・列サイズが数万の行列に対する固有値分解が限界である．

本成果では，デジタルフィルタ設計等で用いられているチェビシェフ多項式近似をモダンな行列処理へと「入れ込む」ことで，大規模行列の特異値処理の高速化を図った．提案手法では，特異値処理を特異値に対するフィルタリングとして表現することで，特異値処理をチェビシェフ多項式として表した．多項式近似により行列の分解を必要とせず，単純な行列ベクトル演算により特異値処理を行う．

画像の補間に対する実験により本手法の有効性を検証したところ，従来手法と比較して3～5倍程度の速度向上を示した．本成果は信号処理分野の一流論文誌である IEEE Transactions on Signal Processing や，データマイニングに関する国際会議である ICDM Workshop へ採録された．

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 16 件)

1. A. Sakiyama, K. Watanabe, Y. Tanaka, and A. Ortega, “Two-Channel Critically Sampled Graph Filter Banks With Spectral Domain Sampling,” IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 67, pp. 1447-1460, 2019. 査読有
2. A. Sakiyama, Y. Tanaka, T. Tanaka, and A. Ortega, “Eigendecomposition-Free Sampling Set Selection for Graph Signals,” IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 67, pp. 2679-2692, 2019. 査読有
3. M. Onuki and Y. Tanaka, “SVD for Very Large Matrices: An Approach with Polar Decomposition and Polynomial Approximation,” in Proc. IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW), vol. 1, pp. 954-963, 2018. 査読有
4. Y. Shimizu, S. Ono, and Y. Tanaka, “Design of Sampling Matrices in Graph Frequency Domain for Graph Signal Processing,” in Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), vol. 1, pp. 1078-1082, 2018. 査読有
5. T. Nishikawa and Y. Tanaka, “Dynamic color lines,” in Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), vol. 1, pp. 2247-2251, 2018. 査読有
6. T. Nishikawa and Y. Tanaka, “Colors in multimodal data: Dominant line extraction inspired by computer vision techniques,” in Proc. IEEE IGARSS, vol. 1, pp. 1-4, 2017. 査読有
7. M. Onuki, S. Ono, K. Shirai, and Y. Tanaka, “Fast Singular Value Shrinkage With Chebyshev Polynomial Approximation Based on Signal Sparsity,” IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 65, pp. 6083-6096, 2017. 査読有
8. D. B. H. Tay, Y. Tanaka, and A. Sakiyama, “Almost Tight Spectral Graph Wavelets With Polynomial Filters,” IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 11, pp. 812-824, 2017. 査読有
9. A. Sakiyama and Y. Tanaka, “Graph reduction method using localization operator and its application to pyramid transform,” in Proc. APSIPA ASC, vol. 1, pp. 1-5, 2017. 査読有
10. Y. Tanaka and A. Sakiyama, “A 'polyphase' structure of two-channel spectral graph wavelets and filter banks,” in Proc. International Conference on Speech, Acoustics, and Signal Processing (ICASSP), vol. 1, pp. 4144-4148, 2017. 査読有
11. A. Sakiyama, Y. Tanaka, T. Tanaka, and A. Ortega, “Accelerated sensor position selection using graph localization operator,” in Proc. International Conference on Speech, Acoustics, and Signal Processing (ICASSP), vol. 1, pp. 5890-5894, 2017. 査読有
12. S. Takeyama, S. Ono, and I. Kumazawa, “Hyperspectral image restoration by hybrid spatio-spectral total variation,” in Proc. International Conference on Speech, Acoustics, and Signal Processing (ICASSP), vol. 1, pp. 4586-4590, 2017. 査読有
13. 田中雄一 永原正章; ネットワーク上の制御と信号処理”計測と制御 vol. 55, pp. 924-929, 2016 査読有
14. S. Yagyu, A. Sakiyama, and Y. Tanaka, “Pyramidal image representation with deformation: Reformulation of domain transform and filter designs,” in Proc. IEEE ICIP, vol. 1, no. 3608-3612, 2016. 査読有
15. Y. Tanaka, S. Yagyu, A. Sakiyama, and M. Onuki, “Mesh-based image retargeting with spectral graph filtering,” in Proc. APSIPA ASC 2017, vol. 1, pp. 1-5, 2016. 査読有
16. A. Sakiyama and Y. Tanaka, “Construction of undersampled graph filter banks via row subset selection,” in Proc. GlobalSIP, vol. 1, pp. 322-326, 2016. 査読有

〔学会発表〕(計 9 件)

1. Y. Shimizu, S. Ono, and Y. Tanaka, “Design of Sampling Matrices in Graph Frequency

Domain Taking a Trade-Off for Characteristics Between Vertex and Frequency Domains,” Graph Signal Processing Workshop 2018.

2. 井田大城, 田中雄一, “ グラフウェーブレット変換に基づくグラフ信号のスケーラブル符号化 ”, 電子情報通信学会信号処理研究会, 2018 年
3. 崎山亮恵, 田中雄一, “ グラフ信号処理におけるポリフェーズフィルタバンクの設計 ”, 電子情報通信学会信号処理研究会, 2018 年
4. 福森航輔, 和田智也, 田中聡久, “ カーネルロジスティック回帰におけるガウスカーネルパラメータの最適化 ”, 電子情報通信学会信号処理研究会, 2018 年
5. 西川智裕, 田中雄一, “ マルチモーダル GIS データにおける Dominant Line 抽出 ”, 電子情報通信学会信号処理研究会, 2017 年
6. 金田大寿, 小貫真希, 田中雄一, “ スペクトルクラスタリングのための低ランク/スパース分解を用いたグラフ学習 ”, 電子情報通信学会信号処理研究会, 2017 年
7. Y. Tanaka, “Graph wavelets and filter banks: Designs in graph spectral domain,” Graph Signal Processing Workshop 2017. (招待講演)
8. 清水幸奈, 小野峻佑, 田中雄一, “ 頂点領域とスペクトル領域の特性を同時に考慮したグラフ信号のサンプリング ”, 第 32 回信号処理シンポジウム, 2017 年
9. 田中雄一, “ 大規模時空間データのスパース表現に向けて: グラフ信号処理の基礎と応用 ”, 第 28 回 RAMP シンポジウム, 2016 年 (招待講演)

〔図書〕(計 1 件)

1. Y. Tanaka and A. Sakiyama, “Oversampled transforms for graph signals,” in Vertex-Frequency Analysis of Graph Signals, L. Stanković and E. Sejdić, Ed., Springer, 2019, pp. 223-254. (分担執筆)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 田中 聡久

ローマ字氏名: (TANAKA, Toshihisa)

所属研究機関名: 東京農工大学

部局名: 大学院工学研究院

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 70360584

研究分担者氏名: 京地 清介

ローマ字氏名: (KYOCHI, Seisuke)

所属研究機関名: 北九州市立大学

部局名: 国際環境工学部

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 70634616

研究分担者氏名: 小野 峻佑

ローマ字氏名: (ONO, Shunsuke)

所属研究機関名: 東京工業大学

部局名: 科学技術創生研究院

職名: 助教

研究者番号 (8 桁): 60752269

(2)研究協力者
研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

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。