

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月25日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2018

課題番号：26730128

研究課題名(和文)閉凸集合族の和集合上の最適化問題と信号処理工学への応用

研究課題名(英文)Optimization over the union of closed convex sets and its application to signal processing

研究代表者

山岸 昌夫 (Yamagishi, Masao)

東京工業大学・工学院・助教

研究者番号：30638870

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：信号処理工学では、凸最適化理論を駆使した高性能アルゴリズムが多数提案されている。本研究では、凸最適化問題の一般化の一つである「有限個の閉凸集合の和集合を制約とする最適化問題」に着目し、工学的に重要な問題例に対して、効率的なアルゴリズムを提案している。また、数値実験を通して、凸最適化理論に基づく既存アルゴリズムに比べ、提案アルゴリズムが優れた性能を実現することを確認している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般に、非凸最適化問題を解くことは非常に困難である。本研究では、工学的に重要ないくつかの非凸最適化問題が効率的に解けることを明らかにしており、その学術的意義は大きいと考えている。研究成果は理論的な基礎原理についての検討が中心となっており、社会実装のためには多くの課題が残されているが、携帯電話の通話品質改善を含む、様々な形で成果を社会へ還元したい。

研究成果の概要(英文)：Many powerful signal processing algorithms have been proposed with the help of convex analysis. In this study, we introduce an optimization problem over the union of a finite family of closed convex sets, as a generalization of a convex optimization problem, and propose efficient algorithms for its several problem instances important in the context of signal processing. We confirm, by numerical experiments, that the proposed algorithms overcome existing algorithms based on convex optimization.

研究分野：最適化学、信号処理工学

キーワード：非凸最適化 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

信号処理は、マイクやカメラなど各種の観測情報から雑音や歪みを取り除き、有益な情報を抽出・推定する技術である。強力な推定アルゴリズムの実現には「信号処理に現れる諸問題を最適化問題として定式化する戦略」が採用されている。この戦略の利点は、最適化問題を巧妙に設計することで、(i)推定対象に関する観測情報と先験情報を柔軟に活用できることや(ii)数理最適化に裏打ちされた強力なアルゴリズムを直接活用できることである。特に、凸最適化の範疇で問題を設計することで、効率的なアルゴリズムを活用できることが知られている[CP'11]。非凸最適化による定式化は、取り扱うことのできる観測情報や先験情報の種類が格段に広がるという観点では望ましいが、効率的なアルゴリズムが存在しないことが多い。そのため、強力な信号処理アルゴリズムの実現において、効率的なアルゴリズムが活用できる「非凸最適化のサブクラス」を発見することが重要であると考えられる。

[CP'11] P.L. Combettes, J.C. Pesquet, "Proximal splitting methods in signal processing," Fixed-Point Algorithms for Inverse Problems in Science and Engineering. Springer New York, pp.185-212, 2011.

2. 研究の目的

非凸最適化問題の中から、凸最適化問題を一般化した「効率的なアルゴリズムを活用できる問題」を発見し、取り扱うことのできる観測情報や先験情報の種類を拡げ、強力な信号処理アルゴリズムの実現に資することを目的としている。

3. 研究の方法

有限個の凸最適化問題から成る最適化問題に着目し、効率的なアルゴリズムの構成を目指す。より正確には、「有限個の閉凸集合の和集合を制約とし、区分的な凸関数を最小化する問題(以下、問題Pと呼ぶ)」を対象とする。自明な戦略は、複数の凸最適化問題に分けて、それぞれを解く方法である。つまり、制約がM個の閉凸集合、目的関数がN個の区分関数から成る際に、閉凸集合と区分関数をそれぞれ選ぶことで、計MN個の部分凸最適化問題を定式化し、全ての部分問題の解を求め、目的関数値を比較することにより、最適解が得るという方法である。

本研究では、この自明な戦略に比べて、より効率的なアルゴリズムを構成するために、具体的な最適化問題に着目し、複数の部分凸最適化問題の非自明な関係を明らかにし、計算量削減を実現している。

4. 研究成果

適応フィルタのパラメータ選択問題や非線形音響エコーキャンセラの学習問題に着目し、効率的なアルゴリズムの構成に成功した。

< 適応フィルタのパラメータ選択問題[学会発表]>

未知システムの同定手法として、適応フィルタが広く用いられている。適応フィルタの学習則の設計において、未知システムに関する先験情報を活用することで、適応フィルタの同定性能の向上が実現出来る。特に先験情報としてフィルタのスパース性(フィルタ係数のほとんどがほぼ0である性質)が広く活用されている。これらの学習則においては「スパース性の活用度合い」を決定するパラメータが現れるため、パラメータ選択の基準が必要となる。本研究では、スパース性を活用する学習則として「Adaptive Proximal Forward-Backward 法[MYYY'10]」に着目し、「スパース性の活用度合い」を決定するパラメータの自動選択法を提案している。具体的には、選択基準として「MSEの統計的推定」を採用している。この選択基準の最適化問題が「有限個の線分の和集合上において凸関数を最小化する問題」であることを明らかにするとともに、隣接している線分上の部分凸最適化問題が有する非自明な関係を用いて、効率的なアルゴリズムを提案している。さらに、数値的に安定な選択基準として「System Mismatchの統計的推定」の活用も提案している。この選択基準の最適化問題も「有限個の線分の和集合上において凸関数を最小化する問題」であることを明らかにし、効率的な求解を実現するアルゴリズムを提案している。

[MYYY'10] Yukihiro Murakami, Masao Yamagishi, Masahiro Yukawa, Isao Yamada, "A sparse adaptive filtering using time-varying soft-thresholding techniques." IEEE ICASSP 2010.

< 非線形音響エコーキャンセラの学習問題[雑誌論文, 学会発表]>

携帯電話を用いた通話の際に、相手の携帯電話のスピーカとマイクを通して、自分の発話が自分の携帯電話のスピーカから聞こえる「音響エコー」が生じることがある。この音響エコーは通話の妨げとなるため「音響エコーキャンセラ(発話音声から音響エコーを予測し除去する機能)」が必要である。その実現にはスピーカの非線形音響特性の適応的学習が必要不可欠である。この学習問題が「有限個の線分の和集合上において凸関数を最小化する問題」として定式化できることを明らかにするとともに、高速かつ安定な学習則を提案し、既存の学習則が抱えていた弱点の一つ「局所最適解における学習の停滞」の解決に成功している。

また、本研究の高度化に必要となる「最適化問題の定式化や反復アルゴリズム」についても様々な成果が得られている[雑誌論文, 学会発表, 図書]。さらに、EEG 分類問題[雑誌論文]やグラフ信号の雑音除去問題[雑誌論文]についても成果が得られている。これらを問題 P の部分問題として活用し、本研究の高度化に活用したい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

Naoki Tomida, Toshihisa Tanaka, Shunsuke Ono, Masao Yamagishi, Hiroshi Higashi, "Active data selection for motor imagery EEG classification," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.62, Issue 2, pp.458-467, 2015, 査読有

Masaki Onuki, Shunsuke Ono, Masao Yamagishi, Yuichi Tanaka, "Graph signal denoising via trilateral filter on graph spectral domain," IEEE Transactions on Signal and Information Processing over Networks, Vol.2, Issue 2, pp.137-148, 2016, 査読有

Hiroki Kuroda, Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Nonlinear acoustic echo cancellation by exact-online adaptive alternating minimization," IEICE Transactions on Fundamentals, Vol. E99-A, Issue 11, 2016, 査読有

Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Nonexpansiveness of linearized augmented Lagrangian operator for hierarchical convex optimization," Inverse Problems, Vol. 33, 35pp., 2017, 査読有

Hiroki Kuroda, Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Exploiting sparsity in tight-dimensional spaces for piecewise continuous signal recovery," IEEE Transactions on Signal Processing, vol.66, Issue 24, pp. 6363-6376, 2018, 査読有

[学会発表](下記 10 件を含む計 35 件)

Masao Yamagishi, Masahiro Yukawa, Isao Yamada, "Shrinkage tuning based on an unbiased MSE estimate for sparsity-aware adaptive filtering," IEEE ICASSP 2014.

Hiroki Kuroda, Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Avoiding local trap in nonlinear acoustic echo cancellation with clipping compensation," IEEE ICASSP 2014.

Tomonori Fujiwara, Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Reduced-rank modeling of time-varying spectral patterns for supervised source separation," IEEE ICASSP 2015.

Masao Yamagishi, Daichi Kitahara, Isao Yamada, "A fast dual iterative algorithm for convexly constrained spline smoothing," IEEE ICASSP 2016.

Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Global behavior of parallel projection method for certain nonconvex feasibility problems," IEEE ICASSP 2017.

Masao Yamagishi, Masahiro Yukawa, Isao Yamada, "Automatic shrinkage tuning based on a system-mismatch estimate for sparsity-aware adaptive filtering," IEEE ICASSP 2017.

Hiroki Kuroda, Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Recovery of piecewise finite-dimensional continuous signals by exploiting sparsity," SampTA 2017.

Hiroki Kuroda, Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Alternating minimization approach for identification of piecewise continuous Hammerstein systems," IEEE ICASSP 2018.

Kwangjin Jeong, Masahiro Yukawa, Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Automatic shrinkage tuning robust to input correlation for sparsity-aware adaptive filtering," IEEE ICASSP 2018.

Masao Yamagishi, Isao Yamada, "Sparsity-aware adaptive proximal forward-backward splitting under the principle of minimal disturbance," IEEE SSP 2018.

[図書](計 1 件)

Isao Yamada, Masao Yamagishi. Hierarchical convex optimization by the hybrid steepest descent method with proximal splitting operators - Enhancements of SVM and Lasso. In H. Bauschke, D. Luke, and R. Burachik, editors, Splitting Algorithm, Modern Operator Theory and Applications, 74pp, Springer, 2019 (in press), 査読有

[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(計 0 名)

(2)研究協力者(計 0 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。