

岩田 覚

東京大学大学院情報理工学系研究科
教授

大規模複雑システムの最適モデリング手法の構築

§1. 研究成果の概要

モデル化は、数理的手法による現実の問題解決や現象の解明に不可欠な第一歩であるが、生命現象や社会現象の様に支配法則の不明確な対象を扱う際には、同じ現象に対しても多数のモデルが考えられる。本研究では、生命現象におけるネットワークや電力システム、交通システムを題材に、離散数学・最適化分野における最新の数理科学的知見を駆使して、多数のモデルの中から最も適切なものを効率的に選択する体系的な手法の創出を目指す。

微分代数方程式で記述される動的システムは、指数と呼ばれる特性量によって数値解法の難しさが特徴付けられている。同じ物理現象をモデル化した際にも変数の選び方や方程式の立て方によって指数は異なる。そこで、最小指数の微分代数方程式モデルを自動的に導出する手法を作ることが一つの目標となる。本年度は、線形時不変微分代数方程式を表現する行列束の指数を確実に減少させる効率的なアルゴリズムを開発した[1]。この手法は、組合せ緩和を採用しており、現在主流のシミュレーション・ソフトウェアで広く用いられている Pantelides のアルゴリズムが破綻する状況も含めて、全ての線形時不変微分代数方程式に対して、正しく動作する指数減少法となっている。

統計的モデリングの最適化に関連して、辞書選択の新しい高速貪欲アルゴリズムを提案した [2]。辞書選択とは、既存の複数の基底からいくつかの要素を選ぶことで、スパース表現のための辞書を作る問題である。得られた辞書を使えば、現実の信号のスパース表現を得ることができる。提案アルゴリズムは、二段階劣モジュラ最大化の Replacement Greedy と圧縮センシングの Orthogonal Matching Pursuit の技法を組合せたものであり、より複雑な疎性の制約にも対応できる。また、提案アルゴリズムをオンライン学習の設定へと拡張し、近似グレットの上界を与えた。さらに、数値実験で提案アルゴリズムが高速かつ高性能であることを示した。

大規模ネットワークに関連して、スペクトル疎化の概念をグラフからハイパーグラフに拡張した [3]。グラフ疎化とは、密なグラフの性質を保存したまま疎なグラフで近似することである。特に、グラ

フのエネルギー関数を保つスペクトル疎化は、ラプラシアンソルバーやグラフ上の半教師あり学習など幅広い応用がある。本研究では、与えられたハイパーグラフのエネルギー関数を保ったまま、枝数を頂点数の三乗オーダーまで削減する多項式時間アルゴリズムを与えた。本成果は、カット関数を保存する既存のハイパーグラフ疎化の拡張とみなせる。また、これまでスペクトル疎化が知られていなかった有向ハイパーグラフに対しても、同様の疎化アルゴリズムを与えた。さらに、劣モジュラ関数のハイパーグラフ表現の結果と組合せることで、ある種の劣モジュラ関数は多項式個のサンプルで学習できることも示した。

【代表的な原著論文】

- [1] S. Iwata and M. Takamatsu: Index reduction via unimodular transformations, SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications, 39, pp. 1135-1151, 2018.
- [2] K. Fujii and T. Soma: Fast greedy algorithms for dictionary selection with generalized sparsity constraints. Advances in Neural Processing Systems (NeurIPS), pp. 4749-4758, 2018.
- [3] T. Soma, Y. Yoshida: Spectral sparsification of hypergraphs. Proceedings of the Thirtieth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA), pp. 2570-2581, 2019.

§2. 研究実施体制

(1) 東大グループ

- ① 研究代表者: 岩田 覚 (東京大学大学院情報理工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・微分代数方程式モデルの最適化
 - ・統計的モデリングの最適化
 - ・大規模ネットワーク
 - ・生命現象の最適モデリング
 - ・社会システムの最適モデリング