

【構成メンバー】

- 河原吉伸(チームリーダー(PI))
- 武石直也(特別研究員), Israr UI Haq(特別研究員), 西村能輝(テクニカルスタッフI)
- 梅谷俊治(客員研究員), 藤井慶輔(客員研究員)
- その他, 6名の研究パートタイマー(修士, 及び博士課程学生)

2019年度中の主要な成果 【1】 劣モジュラ 関数を用いた構造正則化学習の確率的定式化と推論手法開発 [1] 【2】 データから抽出した非線形動力学的構造の予測への利用方法の開発 [2]

非線形動力学的構造のデータ解析への作用素論的方法(【2】の背景)



|劣モジュラ関数と構造的学習(【1】の背景)



(当チームにおけるこれまでの経緯)

劣モジュラ関数を用いた構造正則化の効率的な最小フロー計算への帰着による高速アルゴリ ズムの開発([5]など)や, これの一般化や他の学習モデルへの展開([6]など)を進めてきた.

劣モジュラ関数を用いた構造正則化学習の確率的定式化とその推論【1】

(当チームにおけるこれまでの経緯)

観測データ

1. 作用素論的方法に基づき, 多次元時系列データの動力学的特性抽出のための新たな アルゴリズムの開発などを進めてきた([3,7]など).

2. 開発手法をスポーツデータ解析([4]など)や脳波解析など複数科学分野へ展開してきた.

・劣モジュラ関数を用いた構造正則化学習の確率的定式化の提案、及びその変分推論に 必要な上界の導出 => 同問題におけるベイズ的な推論やモデル選択などを可能に



この場合の分配関数 Z₀の計算は一般に困難 🔿 効率的に計算可能な(変分的な)上界を導出

$$\overline{\mathcal{Z}} = \sqrt{\frac{(2\pi)^p}{\det(\boldsymbol{X}^\top \boldsymbol{X}/\sigma^2 + \eta \boldsymbol{I})}} \cdot \max_{\boldsymbol{w} \in \mathbb{R}^p} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \|\boldsymbol{X}\boldsymbol{w} - \boldsymbol{y}\|_2^2 - \frac{\eta}{2} \|\boldsymbol{w}\|_2^2 - \lambda r(\boldsymbol{w})\right)$$

効率的な最小フロー計算により 高速に最適化が可能 => (Gallo et al., 1989) のアルゴリズムが適用可能 ([5]と同様の計算)



データから抽出した非線形動力学的構造の予測への利用方法の開発【2】

・動的モード分解などの作用素論的解析で得られる空間的な協調性パターン(動的モード など)を分類・回帰などの予測へ適用可能とするための枠組みの提案 => 各パターン(動的モード)で張られる部分空間の角度を定義

複雑な現象の動力学的特性を捉える特徴となっていることを実験的にも確認。



<u>主要な</u> [1] K. Takeuchi, Y. Yoshida, & Y. Kawahara, ``Variational inference of penalized regression with submodular functions," Proc. of the 35th Conf. on Uncertainty in Artif. Intel. (UAI'19), 443, 2019. <u> 発表文献</u> [2] T. Bito, M. Hiraoka, & Y. Kawahara, ``Learning with coherence patters in multivariate time-series data via dynamic mode decomposition," in Proc. of IJCNN'19, paper number 19278, 2019 2重下線 => (Best Student Paper Awardを受賞). チームメンバー

[3] K. Fujii, & Y. Kawahara, ``Dynamic mode decomposition with vector-valued reproducing kernels for extracting dynamical structures among observables,," Neural Networks, 117: 94-103, 2019. 下線 => AIP内の 他の共同研究者 [4] K. Fujii, N. Takeishi, B. Kibushi, M. Kouzaki & Y. Kawahara, "Data-driven spectral analysis for coordinative structures in periodic human locomotion," Scientific Reports, 9: 16755, 2019.

参考文献 [5] B. Xin, Y. Kawahara, Y. Wang, L. Hu & W. Gao, ``Efficient generalized fused Lasso and its applications," ACM Trans. on Intel. Sys. & Tech., 7(4): 60:1-60:22, 2016. [6] K. Takeuchi, Y. Kawahara & T. Iwata, ``Structurally regularized non-negative tensor factorization for spatio-temporal pattern discoveries," in Proc. of ECML-PKDD'17, pp.582-598, 2017. [7] Y. Kawahara, ``Dynamic mode decomposition with reproducing kernels for Koopman spectral analysis," Advances in Neural Information Processing Systems 29, pp.911-919, 2016.