

報道機関 各位

国立大学法人 電気通信大学

## 時系列推定に有効な動的モード分解法のベイズ推論化に成功

### 【ポイント】

- \* 流体力学などの時系列データ解析に有効な動的モード分解 (DMD) にベイズ推論を導入
- \* 不確実性を含むセンサーデータからでも DMD が構成可能
- \* センサデータの欠損などがあっても、自然な DMD が適用できる
- \* 少数パラメータ記述による安定した推定が行える

### 【概要】

電気通信大学大学院情報理工学研究科の庄野逸教授らの研究グループは、流体力学解析などの時系列データ解析に有効な手法である動的モード分解 (DMD; Dynamic Mode Decomposition)<sup>[1]</sup> にベイズ推定法<sup>[2]</sup> を導入し、センサデータの不具合や、ノイズなどを含むケースでも自然な DMD を構成することに成功しました。これにより、流体などの時系列データ解析において、不確実さや曖昧さが含まれるような観測データからでも、DMD によってその欠損の主要因を推論することができるようになります。また、少数のパラメータによる記述でも安定した推定が可能になります。

DMD は行列分解に基づいてデータからダイナミクス<sup>[3]</sup> を推定する手法で、流体力学解析などの時系列データ解析に有効な方法です。一方で、データに欠損などがあると取り扱いくいという欠点がありました。

今回、少数のパラメータで構成する確率モデリングであるベイズ推定法を DMD に導入し、欠損データなども扱える新しい手法を提案しました。これを導入することにより、例えば、非線形シュレーディンガー方程式などで記述される流体データからでも主要成分を確信度付きで抽出できるようになると考えられます。

本成果は人工知能のトップ会議である AAAI-21 において発表されました。

### 【背景】

動的モード分解 (DMD) は、行列分解に基づいてデータからダイナミクスを推定する方法で、主に計算流体力学の分野で発展してきました。ダイナミクスの線形と低ランクの近似を求められることに加え、入力の変換を考慮することによって、非線形ダイナミクスの推定も可能になります。特に、データ数よりも次元数の方が多い状況下において、他の手法よりも高精度であるという特徴を持っています。

本研究では、少数のパラメータのみに支配される DMD のベイズモデルを構成し、この確率モデリングの導入によって、欠損データを扱えるようにすることを目指しました。

### 【手法】

データ数にも次元数にも依存しない自由なパラメータ数で、かつ欠損データにも対応できる DMD

の新しいベイズモデル (BDMD-VMF; Bayesian DMD with VMF) を考案しました。

非線形偏微分方程式からデータを生成して、ダイナミクス の推定と再構成実験を行ったところ、BDMD-VMF は、サンプル数の多寡によらず安定した推論を一定の精度で行うことができました。データ数の質および量が十分なケースにおいては、既存の DMD の結果とほぼ同等の性能が得られ、またデータ数が少ないケースにおいても安定して一定の精度の推定結果を示しました。

一方、先行研究の DMD のベイズモデル (Bayesian DMD) による再構成では、BDMD-VMF よりもパラメータが多く、データ数が少ないケースにおいて非常に不安定な推論結果を示しました。

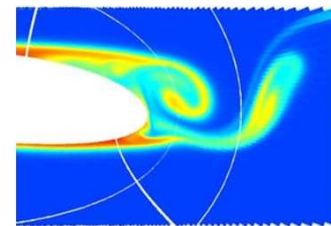
さらに、2 つ目の実験として、自転車運転中の被験者の脚 (両脚の太もも・すね・足) に合計 6 個のジャイロセンサを装着し、センサデータの一部をマスクして欠測させたうえで、BDMD-VMF を適用し、データの復元を試みました。その結果、欠陥のあるジャイロセンサデータでも、95% の高い信用度で観測データが真のデータと一致することが分かりました。

### 【成果】

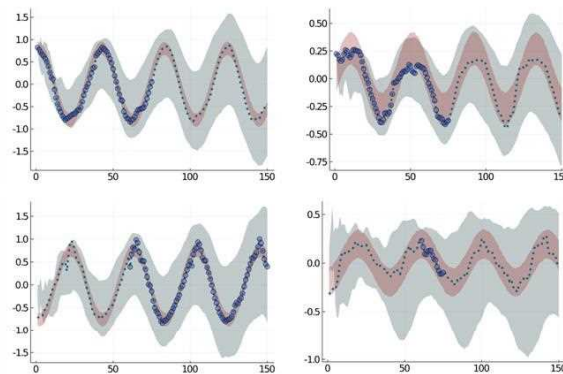
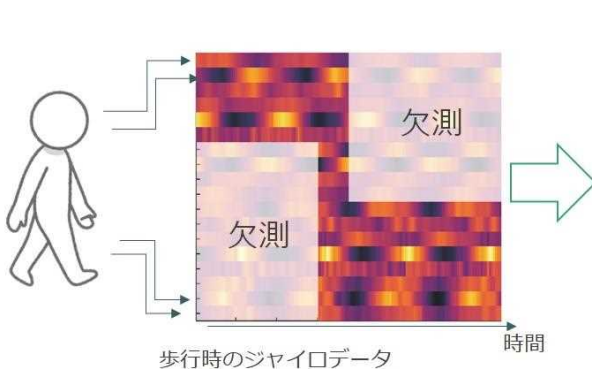
少ないパラメータ数で、かつ欠陥のあるデータにも対応する、高精度な DMD の新しいベイズモデルを提案しました。

## 変分行列分解法を用いた ベイズ動的モード分解 BDMD-VMF の提案

- DMD は時間発展データ解析 (流体解析分野等) で強み
- しかし DMD はデータ欠測などの取り扱いが不得手  
→ ベイズ拡張して欠測データの取り扱いを可能に!



DMD によるカルマン渦解析  
<https://en.wikipedia.org/> より



BDMD-VMF による推定 (赤枠)  
観測点 (青丸)  
真値 (青点)

## 【今後の期待】

今後、オンラインアルゴリズムを適用すれば、より効率的な計算が可能になると思われます。さらに非線形性の強い系も扱えるようにしたいと考えています。

## (論文等情報)

学会名 : AAAI Conference on Artificial Intelligence 21

論文タイトル : Bayesian Dynamic Mode Decomposition with Variational Matrix Factorization

著者 : Takahiro Kawashima、 Hayaru Shouno、 Hideitsu Hino

## (用語説明)

[1] 動的モード分解 : 時間内に成長、減衰、および振動する構造に関して、近似して主要成分を取り出すことのできる時系列信号の分解方法

[2] ベイズ推定法 : 事象を確率的にとらえた推定方法。データ情報が不足していてもそれを補うための情報源を入れ込むことができる

[3] ダイナミクス : 物質やシステムの時間的な挙動

## 【連絡先】

<研究内容に関すること>

電気通信大学 大学院情報理工学研究科

教授 庄野 逸

E-Mail : sa101177@gl. cc. uec. ac. jp

<報道に関すること>

電気通信大学 総務企画課 広報係

Tel : 042-443-5019 Fax : 042-443-5887

E-Mail : kouhou-k@office. uec. ac. jp