

論文の内容の要旨

論文題目 Separation of Superimposed Dynamical Signals
with Temporal Structures
(重畳動的信号の時間構造を用いた分離)

氏名 岩本俊弘

本論文では、原信号時系列の線形結合が観測されているときに、時系列の時間構造を利用して原信号を推定するという問題を取りあつかう。観測データがただちに興味のあるデータではなく、信号処理を施して観測値から興味あるデータを分離することではじめて取り扱いに適したデータとなるという状況は、さまざまな分野においてある。工学的に重要な応用例が含まれる研究対象であり、いくつかの手法が研究されている。

まず、本論文で扱う問題に関連する既存の手法を記述している。線形結合された信号から有用な信号、あるいは、本来の信号を分離する手法である主成分分析および独立成分分析について述べる。これらの手法で扱われる問題は、本論文で扱う問題と類似の問題設定である。また、力学系信号のノイズ除去の手法について述べる。ノイズ除去はアトラクタへの直交射影を複雑にしたものだと捉えることができ、本論文で扱う手法もある意味射影を行っていると考えられるので、その点で関連がある。既存の手法と対比させることで、本論文の位置づけが明確になる。

つづいて、観測される時系列信号が1つで原信号時系列の和として与えられる場合について、原信号を推定する方法を定式化し、推定アルゴリズムを説明している。時系列信号としては離散時間のものを考慮し、遅れ座標系の上での確率分布として時間構造を扱う。推定は、原信号の時間構造を表現するガウス混合分布モデルの推定と、ガウス混合分布モデルを用いた観測時系列信号からの対応する原信号の推定という2つの別個の問題から構成される。前者のモデル推定は標準的なEMアルゴリズムで解けるが、後者の原信号推定は、確率最大化で定式化されるものの数値計算上の困難さが伴い、満足な解を得ることは自明ではない。完全ではないものの多くの場合において良好な結果を与えるアルゴリズムを提案し説明する。また、低次元の力学系の例として、レスラーおよびローレンツ方程式から発生させた時系列信号に対して、説明した手法がうまく適用できることをシミュレーション結果から説明している。

観測時系列は複数の原信号の和であると仮定することは十分でない場合があるので、観測時系列は原信号時系列の線形結合として定義しなおし、その条件の下での推定方法を記述した。線形結合の係数が既知であるとき、2つ以上の時系列信号が観測できる場合の推定方法は、観測時系列が1つである場合の自然な拡張として定式化することができる。また、線形結合の係数が未知である場合の推定方法を述べ、数値実験結果もあわせて説明している。

また、さらに一般的な場合として、原信号のトレーニングデータが与えられない場合における推定の可能性を記述している。

以上をまとめ以下のように結論づけている。観測時系列の数が原信号時系列の数より少ないという条件で原信号の推定を行なう新しい手法を提案した。観測時系列の数が1のときについて実際に数値実験で有効性を確認した。また、より一般的な場合である、観測時系列が複数の場合や線形結合係数が未知の場合についても定式化を行なった。