

氏名	生 駒 哲 一
学位（専攻分野）	博士（学術）
学 位 記 番 号	総研大甲第 1 1 1 号
学位授与の日付	平成 7 年 3 月 2 3 日
学位授与の要件	数物科学研究科 統計科学専攻 学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 目	Nonstationary spectral analysis based on peak frequencies of power spectrum
論 文 審 査 委 員	主 査 教 授 北 川 源 四 郎 教 授 尾 崎 統 教 授 田 辺 國 士 教 授 石 黒 真 木 夫 助 教 授 田 村 義 保

論文内容の要旨

A new statistical model and an extension of the original model are proposed in this paper. The proposed model provides a new approach for nonstationary spectral analysis by directly obtaining the peaks estimation of power spectrum. The decomposition of power spectrum into time variant and time invariant factors is also possible by the modified model proposed in this research.

A new statistical model which has peaks of power spectrum as time varying factor is proposed. This new model is motivated by the natural modeling of nonstationary spectral analysis.

In the conventional models of nonstationary spectral analysis, linearity and Gaussian assumption take important role in the implementation of the model. By these assumptions, there are many advantages since Kalman filter and smoothing algorithms can be applied. On the other hand, for the analysis of irregular vibration, the peak of power spectrum is essential and estimation of the peak information is an important problem.

However, the conventional modeling cannot estimate the information of peak directly, because of the linearity and Gaussian assumption. By the recent development of computational approaches, it becomes possible to estimate the model without the linearity and Gaussian assumption. The direct formulation of peak information to the model construction is now possible. There have been no attempt to such theme up to this time.

The newly proposed model has a formulation of Bayesian context with smoothness prior of changing frequencies of peak for power spectrum, and it consists of autoregressive (AR) model with time varying coefficients parametrized by peak frequencies and damping factors of power spectrum. The proposed model contains nonlinear factors with respect to the state vector due to the parametrization of the time varying factors. Because of the nonlinear formulation, linear filtering and smoothing method such as Kalman filter cannot be applied directly. Extended Kalman filter is one solution to obtain the state estimation of filtering and smoothing. Another solution, which is found to be better than the former, is the application of nonlinear non-Gaussian filtering and smoothing method proposed by Kitagawa (1987).

A modification of the model for the analysis of real time series data is also proposed in this paper. By the modification, it becomes possible to decompose the spectrum of time series into the time invariant spectrum and time varying peaks of power spectrum. The modification of the original model is motivated by the following problem.

In case of nonlinear non-Gaussian filtering is applied to obtain the state estimation, the proposed model has a problem that the dimension of the state vector cannot be taken higher. The dimension should be at most 3 or 4 because of the computational cost. The originally proposed model has a relationship that the AR lag is twice of the dimension of the state vector. Then this restriction limits the AR lag of the original model. However, the real applications often require high order of AR lag to obtain the enough solution of

analysis. So the limit of AR lag becomes a serious problem to the application of real data. hence the modification is required to the original model that the modified model can treat the high order AR lag without increasing the dimension of the state vector.

Since the modification has been done by adding the time invariant factors to the original model, the modified model can treat both time variant and time invariant factors with respect to the spectrum.

For the verification of the proposed model and modified model, simulation experiments are performed. The comparison between extended Kalman filter and non-Gaussian filter has been done. Comparison with the conventional models, such as time-varying coefficients AR model is also considered. As the criteria of the comparison, AIC, expected log-likelihood, and mean square error of estimated peaks are employed. Through the simulation experiments, the proposed method scores better than the conventional ones for any criteria when the simulation data have been generated from the process which have time varying peak frequencies of power spectrum.

Applications by using real time series data sets are also reported. As the real data, seismic wave data and vibration of delta wing in wind tunnel are considered.

The structure of the paper is as follows. Chapter 1 is an introduction of this research containing the background and motivations of the research. Chapter 2 gives a survey of nonstationary spectral analysis and it contains definitions required in the following chapters. Chapter 3 contains the first half of main results of this research. In this chapter, the proposed model is defined after mentioning the problems of ordinary analysis of nonstationary spectrum. Chapter 4 shows the non-Gaussian filter and the implementation of the proposed model. Kalman filter and smoother, extended Kalman filter are summarized and the detail of the nonlinear non-Gaussian filtering is described. An extension of the model is discussed in Chapter 5. This chapter presents the latter half of the main content of this research. A model which can decompose a power spectrum into time variant and time invariant peaks of power spectrum is proposed. In chapter 6, experiments with simulation data are reported for the verification of the proposed model. The comparisons with time-varying coefficients AR model are also reported. In Chapter 7, applications for the real time series data sets are given comparing with time-varying coefficients AR model. Conclusion is given in Chapter 8 with some discussion and future problems related to this research.

論文の審査結果の要旨

審査委員会は数物科学研究科統計科学専攻の生駒哲一君の論文を審査した結果、下記の理由により博士論文として十分の内容を備えていると判断した。

1) 論文の概要

本論文は、時間とともに構造が変化する非定常な動的システムの特徴を捉える方法について論じたものである。全体は8章から成っているが、主要な部分は以下の6つの章である。

第2章は従来からの結果の review を行っており、スペクトル解析法、定常時系列モデルによる時系列の解析法、情報量にもとづくモデル選択の方法および現在までに知られている非定常スペクトルの定義と推定法についてまとめている。

第3章では、ピーク位置の変化の推定を直接の目的とする新しいモデルを提案し、状態空間モデルによる表現、初期状態の決め方、パラメータ推定の方法およびモデル選択の方法について論じている。

第4章では、第3章で提案したモデルにもとづいてスペクトルのピーク位置の変動を推定する方法を考察している。この章では、拡張カルマンフィルタによる近似的推定法を示したあと非ガウス型平滑化のアルゴリズムを用いた厳密な推定法を示している。

第5章では、非ガウス型平滑化による方法は高次元のモデルに適用出来ないという欠点を回避するために、定常部分と非定常部分の両方を持つ形にモデルを拡張し、その推定法を与えている。

第6章では、シミュレーション実験により従来からの推定法との比較などを行い、提案したモデルおよび計算法の有効性を検証している。

第7章では、地震波と風洞実験データの解析を試みている。地震波データの解析では、波の到着によるスペクトルの急激な変化や分散によるスペクトル位置のゆっくりした変化を捉えることができることが示された。また、三角翼の風洞実験データの解析ではフラッタリングとスペクトル位置との関係が明確となり、翼破断時点の推定などへの応用可能性が示された。

2) 論文の評価

論文では、時間とともに変化するスペクトルのピーク位置の推定を目的とした新しいモデルを提案しており、従来からの非定常スペクトル推定法と異なりベイズ型のモデルの導入によりピーク位置の変化の仕方をモデル化することができるようになった。また非線形モデルの利用にともなう計算上の困難は非ガウス型平滑化のアルゴリズムを利用しさまざまな数値計算上の工夫をして解決している。パワースペクトルのピーク位置がシステムの状態のよい指標になる場合は数多く知られており、このように本質的な情報を直接的に取り出すことを可能にする新しい非定常スペクトルの解析法を実用化したことは時系列解析法における重要な貢献であると認められる。

さらに、このモデルをより柔軟な形に改良し、地震波形の特徴抽出および風洞中の三角翼のフラッタリングの解析に応用し、有用な結果が得られたことも高く評価できる。

これらの結果はすでに国際的にも評価されており、第3章に関連する内容は国際誌 Signal Processing に掲載見込みである。