遺伝的アルゴリズムフィルタを用いた時変次数モデルによる非定常スペクトル解析

広島市立大学 情報科学部　生駒 哲一

1　はじめに

地震波のように、振動の複雑さ自体が時間的に大きく変わるような不規則振動データに対して、モデルのパラメータ及び次数の両方が時間変化する方法を用いるふたつのモデルを提案する。一つは時変係数ＡＲ (TVCAR) モデル [5] に基づくもの、もう一つは時変ピーク周波数 (TVPP) モデル [3] に基づくものである。これらのモデル中の時変要素の推定には、遺伝的アルゴリズムフィルタ [2] を用いる。提案モデルによる地震波データの解析結果について報告する。

2　時変次数モデル

本研究で扱うモデルは、次のような時変次数 $p(t)$ の時変係数ＡＲモデルを基本とする。

$$y_t = \sum_{j=1}^{p(t)} a_j^p(t) \cdot y_{t-j} + \varepsilon_t^p, \;\; \varepsilon_t^p \sim N(0, \sigma_p^2(t)) \tag{1}$$

このモデルでは、時変係数の部分がデータの持つ非定常スペクトル成分を記述する。また時変分散 $\sigma_p^2(t)$ を持ち、分散非定常なデータに対応可能である。さらに、このモデル独特の所であるが、ＡＲ次数 p が時間変化し、データの複雑さに応じた次数を適応的に選んでゆくことが可能である。

ＡＲ係数の時間的滑らかさについては、後で述べる TVCAR モデル [5] に基づく方法、及び TVPP モデル [3] に基づく方法の、二つの方法を試みた。

3　遺伝的アルゴリズムフィルタによる状態推定

遺伝的アルゴリズムフィルタ [2] とは、モンテカルロフィルタ (MCF) [4] と遺伝的アルゴリズム (GA) [1] とを同時に行なう方法である。非線形近似フィルタリングである MCF に、GA の手法を導入できるのがその利点である。遺伝的アルゴリズムフィルタを前述のモデルに適用すれば、時変次数 $p(t)$，時変係数 $a_j^p(t)$，及び時変分散 $\sigma_p^2(t)$ を同時に求めること（状態推定）ができる。

フィルタの適用にあたって、遺伝情報を次表のように定義する。表中の「表現型」とは、その情報を２進数（`binary`）

要素	表現型	フィルタ
時変次数 $p(t)$	`binary`	GA
時変係数 $a_j^p(t)$	`double`	MCF
時変分散 $\sigma_p^2(t)$	`double`	MCF

表 1: 遺伝情報の定義

と浮動小数点数（`double`）とのどちらで表すかを示す。また表中の項目「フィルタ」とは、表現された情報をモンテカルロフィルタ（MCF）遺伝的アルゴリズム（GA）のどちらでフィルタリングするかを示す。

なお、表中の「時変係数 $a_j^p(t)$」は、フィルタの適用時にそれを直接使用するだけではなく、以下で述べるような偏自己相関係数や、パワースペクトルのピーク情報などのかたちで用いることができる。それに応じて、時変次数 $p(t)$ の２進数表現も適宜変更する。

4　解析例

提案モデルによる地震波データ（図 1）の解析結果について報告する。

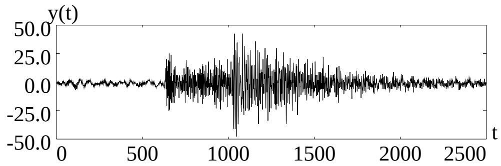

図 1: 地震波データ

4.1　TVCAR モデルに基づく方法

時変係数 $a_j^p(t)$ の代わりに時変偏自己相関係数 $a_j^j(t)$ を用い、時変次数 $p(t) \in \{0, 1, \cdots, P\}$ を２進数 $(\log_2 P[\text{bit}])$ で表す方法である。

推定された時変次数を図 2 に、パワースペクトルを図 3 に、そして、時変分散を図 4 にそれぞれ示す。また、推定されたパワースペクトルから、そのピーク周波数を数値的に求めたものを図 5 に示す。

得られた結果は、Ｐ波，Ｓ波の到着と共に次数が変化し、それに応じたピークが現われている。Ｓ波の減衰と共に、元の次数へゆっくりと戻って行くのがわかる。また時変分散も、地震の各波に応じて適応的に変化している。

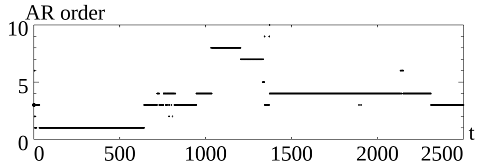

図 2: 推定された時変ＡＲ次数

4.2　TVPP モデルに基づく方法

時変係数 $a_j^p(t)$ の代わりに時変ピーク情報 $[\theta_k(t), r_k(t)]$, $k = 1, 2, \ldots, P$ を用い、時変次数 $p(t)$ の代わりにピークフラグ $(P[\text{bit}])$ を用いる方法である。

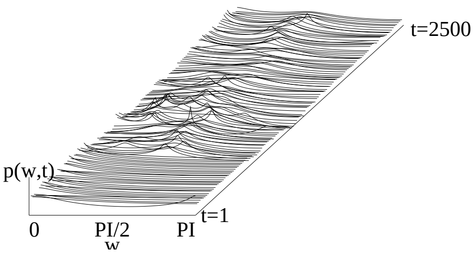

図 3: 推定された時変パワースペクトル

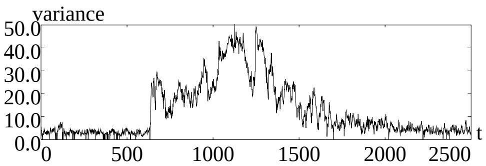

図 4: TVCAR モデルに基づく方法で推定された時変分散

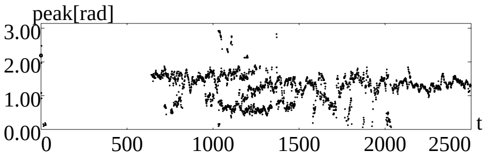

図 5: TVCAR モデルに基づく方法で推定された時変ピーク周波数

推定された時変ピーク数を図 6 に、時変ピーク周波数を図 7 に、そして、時変分散を図 8 にそれぞれ示す。

得られた結果は、Ｐ波，Ｓ波の到着と共にピーク数が増えており、Ｓ波の減衰と共に、元のピーク周波数へゆっくりと戻って行くのがわかる。また時変分散も、地震の各波に応じて適応的に変化している。

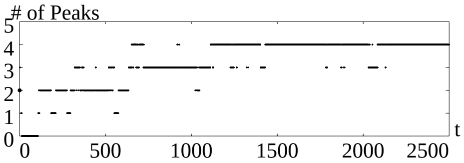

図 6: 推定された時変ピーク数

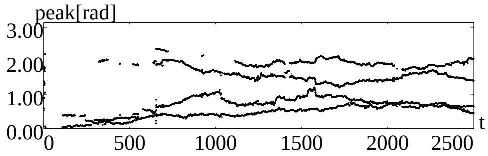

図 7: TVPP モデルに基づく方法で推定された時変ピーク周波数

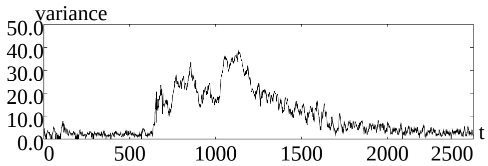

図 8: TVPP モデルに基づく方法で推定された時変分散

5　おわりに

振動の複雑さ自体が時間的に大きく変わるようなデータに対して、モデルのパラメータ及び次数の両方が時間変化するような、時変係数ＡＲ (TVCAR) モデルに基づくもの、および、時変ピーク周波数 (TVPP) モデルに基づくものの、ふたつのモデルを提案した。これらモデルによる地震波データの解析を行ない、Ｐ波，Ｓ波の到着およびＳ波の減衰に応じて、適応的な次数とスペクトル（ピーク）の得られることを報告した。

参考文献

[1] D.E.Goldberg : Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley MA (1989).

[2] T.Higuchi : The Kitagawa Monte Carlo Filter using the Genetic Algorithm Operators, *Institute of Statistical Mathematics Research Memorandum* **564**(1995).

[3] N.Ikoma : Estimation of Time Varying Peak of Power Spectrum based on Non-Gaussian Nonlinear State Space Modeling, *Signal Processing* **49**, No.2 (1996).

[4] G.Kitagawa : A Monte Carlo Filtering and Smoothing Method for Non-Gaussian Nonlinear State Space Models, *Institute of Statistical Mathematics Research Memorandum* **462**(1993).

[5] G.Kitagawa and W.Gersch : A Smoothness Priors Time-Varying AR Coefficient Modeling of Nonstationary Covariance Time Series, *IEEE Trans.* Vol.AC-30, No.1, pp.48-56(1985).

連絡先： 生駒 哲一（いこま のりかず）
〒 731-31 広島市安佐南区沼田町大塚 151-5
広島市立大学 情報科学部 情報機械システム工学科
TEL:082-830-1764,　FAX:082-830-1792
E-mail:ikoma@im.hiroshima-cu.ac.jp