遺伝的アルゴリズムを用いたＡＲモデルによる非定常不規則信号のスペクトル解析

広島市立大学 情報科学部 生駒 哲一

Spectral analysis of non-stationary random signal by Genetic Algorithm aided AR model

Norikazu IKOMA, Hiroshima City University

Abstract: Nonstationary spectral analysis method based on genetic algorithm(GA) with binary coded auto-regressive(AR) order and real vector of partial autocorrelation coefficient(PARCOR) has been proposed. Genetic operations of binary coded AR order and Monte Carlo filtering(MCF) of PARCOR vector are simultaneously done by the method. Time-varying AR order determination and nonstationary AR coefficient estimation are possible by one-pass processing. Analysis of seismic wave data has been proposed as an application of the method.

Key Words : *Nonstationary spectral analysis, Genetic algorithm, auto-regressive model*

1 はじめに

スペクトル解析を行なうにあたって、一定の条件の下での振動データの観測が不可能な場合には、スペクトルの性質が時間的に変化するような、いわゆる非定常スペクトル解析を必要とする。自己回帰（ＡＲ）モデルは、定常スペクトル解析において、滑らかなスペクトルを得るための有効な方法の一つであるが、非定常スペクトル解析にＡＲモデルを利用するためには、ＡＲ係数が時間的に変化するようなモデル（時変係数ＡＲモデル time-varying coefficient AR model: TVCAR）[4] を利用することになる。この場合、解析対象となる全データにおいて、ＡＲモデルの次数は基本的には一定とするのが一般的である。しかし、解析対象のより大きな構造の変化を伴う場合には、固定したＡＲ次数の下でＡＲ係数のみを変化させるだけでは十分でなく、時間変化するスペクトルの複雑さに応じたＡＲ次数の適応的変化が必要となってくる。

データに応じた適応性を持つ方法として、最近、遺伝的アルゴリズム（genetic algorithm:GA） [1] がよく採り上げられている。また、これとは並行に研究されている、非線形フィルタリングの方法である「モンテカルロフィルタ」(Monte Carlo Filter:MCF)[3] と遺伝的アルゴリズムとの共通点を利用した「遺伝的アルゴリズムフィルタ」[2] がある。これらの方法は、非ガウス型フィルタを構成する目的で開発されたもので、非ガウス分布を直接計算する代わりに、その分布に従うサンプルを用いるのが大きな特徴である。

本稿では、これらの新しい方法を用いて、時変係数ＡＲモデルの次数と時変係数とを同時に推定する方法を提案する。また、提案する方法の非定常不規則信号への適用例として、地震動データの解析結果を報告する。

2 遺伝的アルゴリズムを援用した時変次数ＡＲモデル

y_t を観測されるデータとするとき、オーダが $p = 2^n$ の時変係数ＡＲモデルは次のように定義される。

$$\begin{aligned} &\Delta^k a_j^p(t) \sim N(0, \tau^2), \text{ for } j = 1, \ldots, p \\ &y_t = \textstyle\sum_{j=1}^{p} a_j^p(t) y_{t-1} + \varepsilon_t^p \end{aligned} \tag{1}$$

ここで、ε_t^p は $N(0, \sigma_p^2)$ に従う観測ノイズ、$\Delta a(t) \equiv a(t) - a(t-1)$ であり、$k = 1$（ランダムウオーク）や $k = 2$ などが用いられる。分布 $N(0, \tau^2)$ は、時変ＡＲ係数の変化の滑らかさを規定する分布である。

遺伝的アルゴリズムを援用して、時変ＡＲ次数 p を推定する次のような方法を提案する。まず、ＡＲ次数 p を、ＧＡで良く用いられるような、n ビットの２進数で表現し、これを遺伝子と呼ぶ。この遺伝子に対し、ＧＡで通常用いられる淘汰・交叉・突然変異の操作を施す。ただし、ＧＡでは普通、淘汰において利用する適応度の評価が時間的に一定であるのに対して、ここで提案する方法では時系列データの各時刻に対する尤度を用いる。すなわち、同じ環境による評価を繰り返すＧＡの標準的な手法ではなく、時系列データの持つ非定常な環境変化を用いて遺伝子の評価を行なう。

時変ＡＲ係数の推定には、偏自己相関係数(Partial autocorrelation coefficient:PARCOR) を次のように利用する。まず、遺伝子と PARCOR とをペアにして「個体」を定義する。遺伝的アルゴリズムフィルタ [2] の方法により、尤度の大きな PARCOR を持つ個体が多く残るような計算をする。このとき、ＡＲ次数を推定するＧＡの計算も同時に行なうことができる。よって、時間的に変化するＡＲ次数と時変ＡＲ係数とを、一回の計算で同時に推定することか可能となる。

3　非定常不規則信号処理への適用

遺伝的アルゴリズムを援用した時変次数ＡＲモデルにより、非定常不規則信号を処理した結果について報告する。処理対象となる非定常不規則信号として、Fig.1に示す地震動データを採用した。

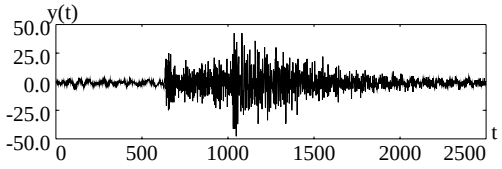

図 1: 地震動データ

提案する方法により推定された、時変ＡＲ次数、時変分散および非定常パワースペクトルを、Fig.2、Fig.3およびFig.4 にそれぞれ示す。

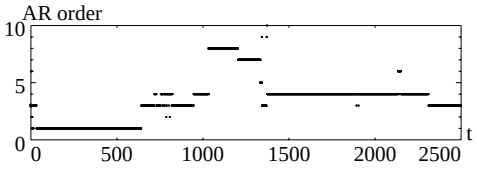

図 2: 推定された時変ＡＲ次数

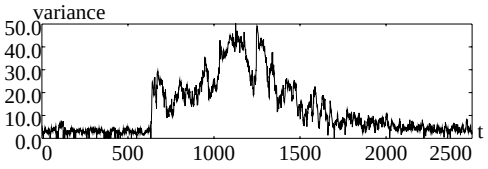

図 3: 推定された時変分散

また、推定された非定常パワースペクトルのピーク周波数をプロットしたものを、Fig.5 に示す。

推定された結果を見ると、時変ＡＲ次数はＰ波・Ｓ波の到着に対応して変化し、時変分散もそれぞれの波の振幅に応じた大きさの変化を示している。また、得られた非定常パワースペクトルでは、Ｓ波の到着により低いピーク周波数が現れ、Ｓ波の減衰とともにＰ波のピーク周波数だけになってゆくのがわかる。

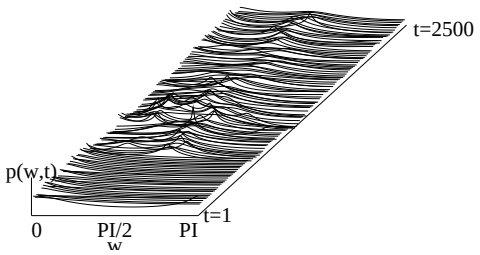

図 4: 推定された非定常パワースペクトル（３次元表示, 隠線処理なし）

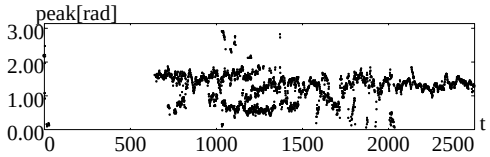

図 5: 推定された非定常パワースペクトルのピーク周波数

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

[4] 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 知的制御理論講座
TEL:082-830-1764, FAX:082-830-1792
E-mail:ikoma@im.hiroshima-cu.ac.jp