

N 3 自然観測係数による時変性信号の解析

木本一美[†] 堀 潤一^{††} 齊藤義明^{††} 木竜 徹[†]

(新潟大学大学院自然科学研究科[†] 新潟大学工学部^{††})

1 まえがき

音声信号や生体信号などを解析する方法として線形予測モデルやフーリエ変換などがあるが、これらの方法は信号の定常性を仮定する必要がある。しかし、実際の音声信号や生体信号などは非定常性であり、信号解析においてこの非合理性は無視できない。一方、自然観測法は信号の定常・非定常性に依存しない解析法であり、信号のある一時刻の特徴を抽出できる¹⁾。本報告では解析用のパラメータとして、自然観測システムを構成する線形結合係数(自然観測係数)を用いて、非定常信号を解析することを目的とする。その際、パラメータが不規則に変化する時変性信号に対応できるカルマンフィルタ²⁾を用いて、自然観測係数を推定する。

2 自然観測法

波形は時間の関数で表される。波形を周波数の関数として表現するフーリエ解析法は、過去から未来までの時刻の波形の様子を熟知していなければならない。この難点を基本的に解決するために提案された方法が自然観測法である。

自然観測システムは1項の1次低域通過フィルタと、無限項の1次高域通過フィルタの縦続接続からなる。ここで各項の出力信号を観測値系列 $\{a_m(n)\}$ とすれば、原波形 $f(n)$ は

$$f(n) = \sum_{m=0}^{\infty} a_m(n) \quad (1)$$

によって完全に再構成される。但し、 $n(=1, 2, 3, \dots, N)$ は離散時間を表す。本研究では1次高域通過フィルタの項数を有限とした有限項の自然観測システムを用いて波形を解析する。有限項の自然観測システムによる原波形の再構成は

$$f(n) = g(n) + e(n) = \sum_{m=0}^M a_m(n) b_m(n) + e(n) \quad (2)$$

で表される(図1)。 $e(n)$ は原波形と再構成波形の残差であり、 $\{b_m(n)\}$ は自然観測係数である。式(1)と比較しても明らかなように、 M を無限大としたときの $\{b_m(n)\}$ は全て1である。

本報告では概周期波形をシミュレーション波形として用いる。概周期波形を再構成するための初項の自然観測係数 $b_0(n)$ は1となる³⁾。

$$f'(n) = f(n) - a_0(n) \quad (3)$$

とおくと、式(2)より

$$f'(n) = \sum_{m=1}^M a_m(n) b_m(n) + e(n) \quad (4)$$

となる。

3 カルマンフィルタによる自然観測係数の算出

確率変数ベクトルを $b(n) (= (b_1(n), \dots, b_M(n)))$ 、 $b(n)$ の最適な推定値を $\hat{b}(n)$ とする。カルマンフィルタとは $\|b(n) - \hat{b}(n)\|^2$ を最小にするフィルタであり、非定常系の状態推定問題へも適用できる。

カルマンフィルタにより1ポイント毎に自然観測係数を推定する。

状態方程式

$$b(n+1) = b(n) + w(n) \quad (5)$$

$$f'(n) = a_n^T(n)b(n) + e(n) \quad (6)$$

で表される可制御・可観測の線形動的システムを考える。 $e(n)$ と $w(n)$ は、

$$E[e(n)] = 0 \quad (7)$$

$$E[e(n)e(\tau)] = \sigma_e^2(n) \delta_1(n-\tau) \quad (8)$$

$$E[w(n)] = 0 \quad (9)$$

$$E[w(n)w^T(\tau)] = W(n) \delta_1(n-\tau) \quad (10)$$

$$\delta_1(n-\tau) = \begin{cases} 1, & n = \tau \\ 0, & n \neq \tau \end{cases} \quad (11)$$

を満たす白色ガウス雑音であると仮定する。 $\sigma_e^2(n)$ は $e(n)$ の分散値である。 $e(n)$ を観測ノイズ、 $w(n)$ をシステムノイズと呼ぶ。式(5)~(11)より、次の推定アルゴリズムが成り立つ。

$$M(n+1) = P(n) + W(n) \quad (12)$$

$$K(n+1) = \frac{M(n+1) a_n^T(n+1)}{\sigma_e^2(n+1) + a_n^T(n+1) M(n+1) a_n(n+1)} \quad (13)$$

$$P(n+1) = \{I - K(n+1) a_n^T(n+1)\} M(n+1) \quad (14)$$

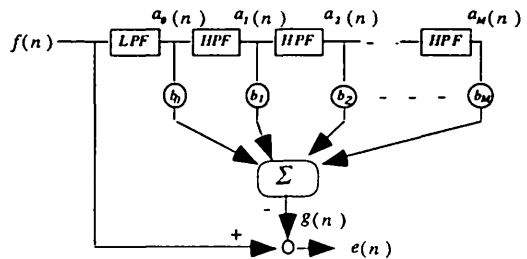


図1 有限項の自然観測システム

$$\hat{b}(n+1) = \hat{b}(n) + K(n+1) \{ f'(n+1) - a_n^T(n+1) \hat{b}(n) \} \quad (15)$$

初期値は、 $\hat{b}(0) = 0, P(0) = \alpha I$ とする。初期値が既知の場合には、 $\hat{b}(0) = b(0), P(0) = 0$ を使用する。

4 シミュレーション実験

本報告では周波数の変化する時点において係数がどのように変化するかをシミュレーション実験で確認する。シミュレーション波形は周波数の異なる正弦波を1個～3個重ね、1s後に周波数成分を変化させたものを使用する。カルマンフィルタの観測ノイズの分散値は1、システムノイズの分散値は1とする。また有限項の自然観測システムのフィルタの項数は概周期波形の理論¹³⁾から、1つの正弦波の場合3項、2個重なった場合5項、3個重なった場合7項とし、それぞれのカットオフ周波数は100Hzに設定する。

5 結果

概周期波形の理論から計算された自然観測係数を真値と呼ぶことにする。1つの正弦波の場合、真値通りに自然観測係数が推定されている(図2)。しかし、正弦波の数が多くなるにつれて、自然観測係数の収束性が悪化した(図3,4)。

6 考察

非定常時系列を解析する場合、時間区間を小区間に分割し、各小区間では定常であると仮定している。しかし、実際に小区間を解析した場合、求まった係数はどこの時点の係数を表しているのかわからない。故に本報告ではカルマンフィルタにより逐次推定を行うことによって、その時点での自然観測係数の値が明確に求まると思われたが、過去の影響を受けるため自然観測係数の収束性に問題があった。この収束性は、システムノイズの分散値を大きくすることにより改善されるが、この方法にも限界があり、正確な自然観測係数は得られなかった。

7 まとめ

自然観測システムによって周波数の変化する非定常信号を解析した結果、1つの正弦波の場合カルマンフィルタを用いて自然観測係数を推定できた。しかし、正弦波の数が多くなるにつれて、自然観測係数の収束性が悪化した。

今後の課題としては、周波数成分が多く項数が多いときに真値を推定可能にし、実際の音声認識などに自然観測係数を適用することがあげられる。

参考文献

- [1] 飯島泰蔵：“波形の自然観測に関する基礎理論”，信学論(A), J74-A, 10, pp.951-958(1984-10)。
- [2] 谷萩隆嗣：“デジタル信号処理の理論，第3巻 推定・適応信号処理”，コロナ社(1986)
- [3] 飯島泰蔵：“概周期波形を受理する自然観測フィルタ”，信学論(A), J.74-A, 3, pp.435-441(1991-03)。

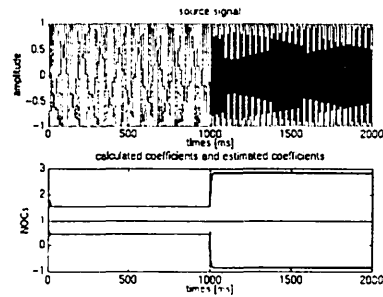


図2 1つの正弦波の場合のシミュレーション波形と自然観測係数

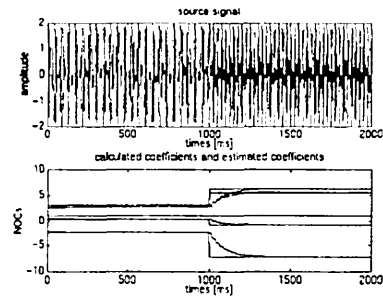


図3 2つの正弦波を重ねた場合のシミュレーション波形と自然観測係数

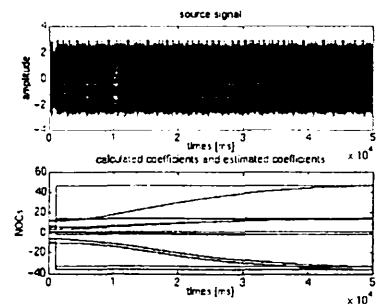


図4 3つの正弦波を重ねた場合のシミュレーション波形と自然観測係数