

1 はじめに

広帯域信号に含まれる未知周波数の狭帯域雑音を除去するために、適応ノッチフィルタがある。しかし、この雑音除去システムでは、固定ステップサイズを用いたフィルタ係数更新アルゴリズムであるので、推定精度と収束速度のトレードオフが解決できないという問題がある。そこで、本研究では、ノッチフィルタ係数の真値を推定することによって、推定精度を劣化させることなく、より高速な収束速度を実現する。

2 適応ノッチフィルタ

図1に適応ノッチフィルタの構成を示す。ここで、 $x(n)$ は入力信号であり、狭帯域信号 $s(n)$ との広帯域信号 $w(n)$ の和である。図1の適応ノッチフィルタの伝達関数は

$$H_N(z) = \frac{1}{2}\{1 + H_A(z)\} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 $H_A(z)$ は2次IIR型オールパスフィルタの伝達関数であり、

$$H_A(z) = \frac{r_A + \alpha(n)z^{-1} + z^{-2}}{1 + \alpha(n)z^{-1} + rz^{-2}} \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 $\alpha(n)$ はノッチ周波数を決定するフィルタ係数である。また、 r_A は伝達関数 $H(z)$ の極の振幅(極半径)の二乗であり、除去帯域幅を決定する定数である。

フィルタ係数 $\alpha(n)$ の更新式は

$$\alpha(n+1) = \alpha(n) - \mu u(n-1)e(n) \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 μ はステップサイズである。このステップサイズを小さくすることで推定精度を改善できる。しかし、このとき収束速度が遅くなるという、推定精度と収束速度のトレードオフの関係がある。

3 真値推定法

本論文の提案法である、適応ノッチフィルタを用いた真値推定法について述べる。これは、フィルタ係数更新量の時間平均、入力信号の自己相関関数、ノッチフィルタの極半径、現在のフィルタ係数の4つのパラメータからノッチフィルタ係数の真値を推定する方法である。このとき、フィルタ係数更新量の時間平均を得るまでは、フィルタ係数は常に0に固定する。各パラメータとフィルタ係数の真値との関係を次式に示す。

$$E[u(n-1)e(n)] = \frac{(1+r_A)r_{xx}(1)}{4r_A} \frac{\bar{\alpha}^2 + (1-r_A)^2}{(1+r_A)^2} \quad (4)$$

ただし、 $E[u(n-1)e(n)]$ はフィルタ係数更新量の時間平均、 $r_{xx}(1) = E[x(n)x(n-1)]$ は入力信号の自己相関関数、 r_A は極半径の二乗、 $\bar{\alpha}$ はフィルタ係数の真値である。式(4)を $\bar{\alpha}$ について解くと、次式が導出できる。

$$\bar{\alpha} = \pm \sqrt{\frac{(1+r_A)^2}{4r_A} \left\{ \frac{(1+r_A)r_{xx}(1)}{E[u(n-1)e(n)]} - (1-r_A)^2 \right\}} \quad (5)$$

ただし、式(4)と逆符号をもつ $\bar{\alpha}$ が係数真値となる。

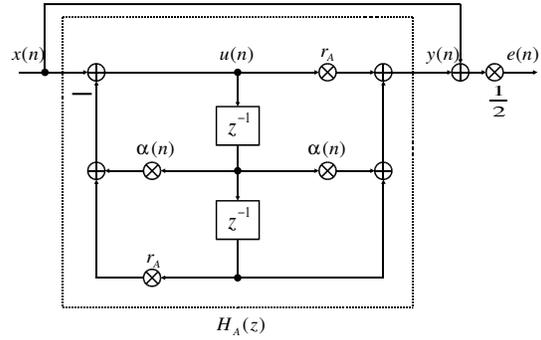


図1: 適応ノッチフィルタ

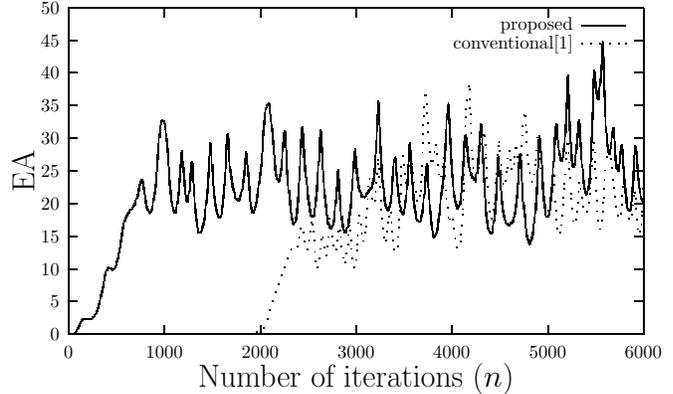


図2: シミュレーション結果

4 シミュレーション

雑音除去性能の評価には、次式で定義されるSNRとEAを用いた。

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \frac{E[s^2(n)]}{E[w^2(n)]} \text{ [dB]}$$

$$\text{EA} = 10 \log_{10} \frac{E[s^2(n)]}{E[e_s^2(n)]} \text{ [dB]}$$

ただし、 $e_s(n)$ は出力信号 $e(n)$ に含まれる狭帯域信号成分である。除去性能が高いほどEAの値は大きくなる。

図2にEAの値をプロットしたものを示す。ただし、比較として従来法[1]の結果も示している。このとき、入力信号をSNR = 5[dB]とし、また従来法、提案法共に、 $r_A = 0.99$ 、 $\mu = 1.0 \times 10^{-5}$ にそれぞれ設定した。この結果から、推定精度を保ったまま、収束速度の高速化が可能になったことを確認できた。

5 まとめ

本研究では、各パラメータとフィルタ係数の真値との関係を導出し、その関係を利用した真値推定法を提案した。そして、計算機シミュレーションの結果、従来法に対して推定精度を劣化させることなく、高速に雑音除去ができることを確認した。

参考文献

- [1] A. Kawamura, Y. Itoh, J. Okello, M. Kobayashi, and Y. Fukui, "Parallel composition based adaptive notch filter," IEICE Trans., vol.E87-A, no.7, pp.1747-1755, July 2004.