

適応ノイズキャンセラにおける係数平滑化

情報科学科 金森 隼斗

指導教員：戸田 尚宏

1 はじめに

適応フィルタによる交流雑音除去において、戸田 [1] は一過性のパルス状信号と、加わっている雑音が無相関であったとしても、観測時間の有限性により見かけ上の相関が測定され、最小二乗法に基礎をおく適応フィルタ出力に、明確な振動成分が表れることを指摘し、この振動成分を自己除去成分と呼んだ。

そこでパルス状信号の持続期間中フィルタリングは行わすが、相関及びフィルタ係数の更新を行わないマスク処理を提案し、実際のフラッシュ光 ERG 検査の場合で有効性を示している。しかしマスク処理はパルス状信号の発生頻度が低い場合には有効であるが、発生の間隔がマスク長以下となる頻度を越える場合には用いることができない。

本研究では適応フィルタ係数の挙動について検討し、自己除去成分が発生している場合には、交流雑音を完全に除去できる値の周りでフィルタ係数が振動することを理論的に明らかにする。この振動を低域通過フィルタによって平滑化する方法は村松 [2]、長谷川 [3] によって提案されているが、数値例が示されるにとどまっていた。さらに平滑化法が適応性を確保した上で自己除去成分を抑制することの理論的根拠を述べた上で、この点を明確にした数値例により有効性を示す。

2 フリッカー ERG 検査を例としたフィルタ係数の周波数成分

本研究では戸田 [1] の理論を拡張することで、フィルタ係数は真値成分と振動成分の和で構成されていることを以下のように明らかにした。

混入する交流雑音を $n_{ac}(k) = A_0 \cos(fk + \theta)$ とすれば、フィルタ係数の 1 つ $h_0(k)$ は式 (1) のようになる。

$$h_0(k) = \frac{2(1-\lambda)}{1-\cos^2 f} \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} s(\tau) \lambda^{k-\tau} U_s(k-\tau) \cdot \{\cos(f\tau) - \cos f \cos(f(\tau-1))\} + h_0^* \quad (1)$$

ここで λ は解析窓パラメータ ($0 < \lambda < 1$) である。 h_0^* は真のフィルタ係数であり、 $\lambda \rightarrow 1$ のとき、

$$h_0^* = \frac{A_0 \sin(f + \theta)}{\sin f} \quad (2)$$

となる。交流雑音の基本周波数 f [Hz]、所望信号としてフリッカー周波数 g [Hz] のフリッカー信号 ($s(k) = \cos(gk)$) が与えられた時、フィルタ係数の振動成分である第 1 項は以下の式 (3) に示した $v(k)$ を含む。

$$v(k) = s(k) \{ \cos(fk) - \cos f \cos(f(k-1)) \} \\ = A \{ \cos((f-g)k) + \cos((f+g)k) \} \\ + B \{ \sin((f-g)k) + \sin((f+g)k) \} \quad (3)$$

ただし $A = -\frac{1}{2} \sin f \cos(\frac{\pi}{2} - f)$ 、 $B = -\frac{1}{2} \sin f \sin(\frac{\pi}{2} - f)$ である。ここから振動成分は周波数 $f-g$ 、 $f+g$ を持つことがわかる。真値成分は式 (2) より直流成分の 0 [Hz] を持つため、フィルタ係数に 0 [Hz] 近傍のみを抽出するローパスフィルタをかける事で、真値成分のみを取り出せると予想される。

3 数値シミュレーションで確認する平滑化効果

前節の議論から平滑化は、フィルタ係数の真値成分のみを取り出す操作であることが明らかとなった。以下ではこの点を数

値シミュレーションによって確認する。

$f = 50$ [Hz]、 $g = 30, 60, 90$ [Hz]、サンプリング周波数 $f_s = 300$ [Hz]、フリッカー信号が 10 [msec] より入力された場合を例にし、平滑化前と平滑化後のフィルタ係数の一つに関する挙動を時間軸上に示したものが図 1、2 である。平滑化には 1 次縦続接続型 IIR フィルタを用いることとし、平滑化パラメータ 0.898、次数 8 とした。

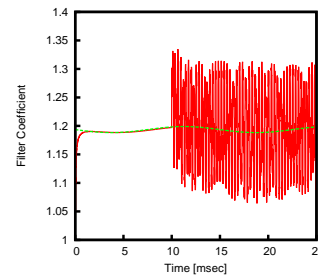


図 1 平滑化前のフィルタ係数

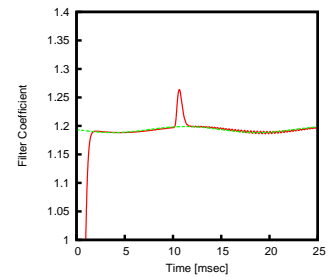


図 2 平滑化後のフィルタ係数

平滑化前はフリッカー信号が始まると激しく振動しているが、平滑化後は真値周辺の値を求め続けられていることがわかる。また周波数軸上で平滑化効果を確認したものを図 3、4 に示す。

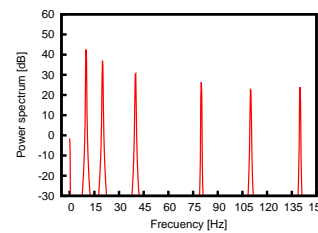


図 3 平滑化前のパワースペクトル

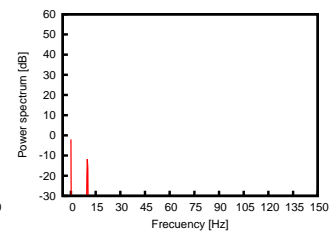


図 4 平滑化後のパワースペクトル

平滑化前の図 3 では、式 (3) に f, g を代入することで予想される周波数 (10, 20, 40, 80, 110, 140 [Hz]) にピークが立っているが、平滑化後の図 4 では立っていたほとんどのピークが減少している。一方で平滑化後も 0 [Hz] 成分は平滑化前と変わっていない。以上から式 (3) や平滑化理論が正しいことを確認することができた。

4 おわりに

平滑化は単にフィルタ係数の振動を抑えるのではなく、真値成分のみを抜き出す操作であることが明らかとなった。また数値実験により、マスク処理を用いることができないフリッカー ERG 検査の場合でも、平滑化は効果的であることを示した。

今後はさらに一般的な次数及び入力における場合へ理論を発展させる必要がある。

参考文献

- [1] 戸田尚宏, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J94-D, No10 pp.1685-1695, 2011.
- [2] 村松慎也, ME とバイオサイバネティクス研究会 (MBE), pp47-50, 2013-3.
- [3] 長谷川雅之, 愛知県立大学大学院, 2014.