

周波数変動に頑健な適応交流ノイズキャンセラにおける参照信号周波数の推定法

情報科学科 加藤 千裕

指導教員：戸田 尚宏

1 はじめに

商用交流電源や回転機械に起因する交流雑音は微小信号の測定時に混入し問題となる。特に脳波や心電、筋電など体表面に装着した電極から測定する生体電気信号の場合では著しい。この交流雑音の周波数や振幅も一定ではないため、そうした変化に追従するために周波数、振幅などを推定し差し引く方式として、適応フィルタが検討されてきた。しかし戸田 [1] は生体信号自体の存在によって計測の障害となる成分 (自己除去成分) が発生し、医療検査においてはこの成分が深刻な問題を引き起こすと指摘し、適応フィルタ係数の平滑化などが提案された [2]。

一方で松原 [3] は交流雑音が周波数変動する場合、フィルタの遅延素子として 90 度位相器の適応フィルタを用いるとフィルタ係数の変化が不必要であることを見出し、これにより自己除去成分の影響を小さくし、追従遅れによる性能劣化も抑制できる事を示した。さらに福田は雑音源から皮膚等の測定点への伝達特性が微分特性の場合への対処法も提案している [4]。

ところが松原 [3] の方法は参照信号が交流雑音の高調波毎に分離されている必要があり、福田 [4] は基本周波数付近を取り出した参照信号に対して、0 レベルを交差する時刻を測定し 1 周期にかかる時間の逆数として周波数を推定する方法 (ゼロクロス法) を用いて有効性を示した。しかし測定時点毎でしか周波数が与えられないため、本来の雑音除去性能を発揮出来ていない可能性がある。

そこで本研究ではこのゼロクロス法が真の参照信号を用いた場合に比べてどの程度性能が劣化しているのかを明らかにし、さらなる性能向上を目指し解決法を提案する。

2 ゼロクロス検出と 1 次補間による周波数検出

交流信号はその周波数付近の帯域通過フィルタによって細かな不規則雑音は取り除かれて Δ_t の時間間隔でサンプリングされているものとする。0 レベルの交差はサンプリングされた交流信号を $u(k)$ とすると、 $u(k-1)$ が負で $u(k)$ が 0 以上の場合を検出する。連続時間での信号 $u(t)$ は時間区間 $(\Delta_t(k-1), \Delta_t k)$ のいずれかの場所で 0 レベルと交差するので、この間を 1 次関数で補間し、その関数が 0 となる時刻を解析的に求める。

しかしこの方法は周波数の測定時点から次の 0 レベル交差点までの周波数測定までの間、定数で保持する方法 (以下 0 次ホールド) であるが、周波数が不連続に変化していること及び真の周波数変動からの遅れが生じていることが問題として上げられる。よってこの周波数計測の誤差を減少することができれば、より性能を上げられると考えられる。

本研究では以下の 2 つの方策により、この問題を解決する方法を提案する。

- 0 レベル検出時点で前回検出時から今回検出時までの周波数変化を 1 次関数 (以下 1 次ホールド) とする。
- 真の周波数に対して遅れがあるため、雑音除去結果出力の時刻を遅らせる。

現時刻での出力から遅れが生じるが、その時間は交流の基本周期の 2 倍程度であるため、医療診断装置等では問題はない。

2.1 1 次ホールド

レベル検出時 k_{pre} を起点とした $k-1$ 時刻までの各サンプル時刻 $(m, (0 \leq m \leq (k-1-k_{pre})))$ での測定周波数 $f_{mes_{pre}}$ を 1 次関数

$$f_{est}(m) = \frac{f_{mes} - f_{mes_{pre}}}{interval} \Delta_t \cdot m + f_{mes_{pre}} \quad (1)$$

によって補間する。

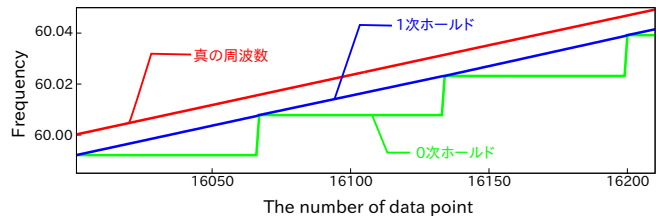


図 1 1 次関数による周波数変動の補間

1 次ホールドが 0 次ホールドの周波数測定時点での値を繋ぐ直線として、周波数変動を表わす様子を図 1 に示す。

2.2 遅延処理の導入

図 1 は再構成した周波数変動は真の周波数変動に対して遅れている。そこで計測対象信号もその分遅延させることで解決を図る。遅延時間を τ 、遅延させた新たな計測対象信号 $s_\tau(k)$ を $s_\tau(k) = s(k-\tau)$ として雑音除去処理を行う。

3 数値実験による誤差評価

基本周波数 60Hz の交流雑音の周波数が振幅 ± 0.3 Hz の間を正弦波状 (0.5Hz) に変化している状態で生体信号を模した正規白色雑音を所望信号とし、提案した適応ノイズキャンセラにより交流雑音除去の数値実験を行った。

最適な遅れ時間を探索したところ、33 サンプル点で誤差が最小となった。表 1 に各方法における真の所望信号と出力信号との 2 乗平均誤差の対数を示す。提案法はほぼ真の参照信号を用いた場合の精度達成している。

表 1 各方法における所望信号と出力信号の誤差 (対数)

真の参照信号を用いた場合	-6.297194
0 次ホールド	-4.638198
1 次ホールドのみ	-5.206829
1 次ホールド+遅延処理 (33 点)	-6.294353

4 おわりに

1 次関数補間と遅延処理により、従来法より精度の高い雑音除去が行える。本研究では周波数変動が正弦波状に生じるものとして仮定したが、実際は不規則な変動が生じると考えられるため、今後そうした状況でも対応できるか確認する必要がある。

参考文献

- [1] 戸田尚宏, 信学論 D, Vol.J94-D, No.10, pp.1685-1695, 2011.
- [2] Y.Matsubara and N.Toda, IEICE Trans. Inf. & SYST., Vol.E100-D, No.11, pp.1854-1860, 2018.
- [3] Y.Matsubara and N.Toda, IEICE Trans. Inf. & SYST., Vol.E100-D, No.2, pp.359-366, 2017.
- [4] 福田有哉 戸田尚宏, 信学技報 MBE2019-91, pp.57-62, 2020.