

ゼロクロス法による適応交流ノイズキャンセラにおける参照信号の周波数推定

情報科学科 小久保 真由

指導教員：戸田 尚宏

1 背景と目的

適応フィルタを用いた交流ノイズキャンセラを搭載した ERG 検査装置が実用化 [1] され臨床で用いられている [2]. しかし、増幅回路中にアンチエイリアジングフィルタという高価な部品が使われており、機器の高額さが普及の妨げとなっているためコストダウンが急務である。

この問題をソフトウェア的に高調波を作成することで解決するためには、高精度で基本周波数の推定がされていることが不可欠である。大橋 [3] は、一周期分のクロックパルスをカウントし、基本周波数を推定する方法を提案しているが、特別なハードウェアを必要とするため十分なコストダウンの効果を見込めない。そこで本研究では、そうした特別なハードウェアを必要としない方法として、参照信号のサンプル値間を関数で補間し、ゼロクロス点の導出から基本周波数を推定する方法を提案する。

2 適応フィルタによる雑音除去

適応フィルタを用いたノイズキャンセラには、離散時刻 k において生体電気信号など所望される信号 $s(k)$ 、雑音の加わった主入力信号 $d(k)$ と雑音源（商用交流電源）から取得した参照信号 $u(k)$ が入力される。参照信号に、式 (1) のようにフィルタを通すことで主入力信号に加わっている交流雑音のレプリカを作り出し、その差分処理を行い所望信号雑音 $e(k)$ を取り出し出力する。ここで $g_\ell(k)$ は適応アルゴリズムにより更新されるフィルタ係数、 p はフィルタ次数であり、高調波数（基本周期を含む）を q とすると $p = 2q$ である。

$$e(k) = d(k) - \sum_{\ell=0}^{p-1} g_\ell(k)u(k-\ell) \quad (1)$$

3 ゼロクロス法

ある周波数の正弦波に近い周期信号が与えられたとき、その信号がゼロクロスする 2 点から周期 T を導出する。ここから推定される周波数 \hat{f} は $\hat{f} = 1/T$ で求められる。ゼロクロス点は図 1 のように直近の 2 つのサンプリング点から直線（一次関数）で補間することで求めることができる。ゼロクロス点前後のサンプリング点は、あるサンプリング点 $u[i-1]$ が 0 より小さく、かつその次のサンプリング点 $u[i]$ が 0 より大きいときに、それぞれを点 A、点 B とし、この 2 点を通る直線式を求め、ゼロクロスするときの時間 α を導出する。このゼロクロス点同士の間隔を求めることで 1 周期 T が得られ、その逆数をとることで周波数推定値 $f(k)$ が与えられる。これにより、時間とともに変動する基本周波数を推定することができる。

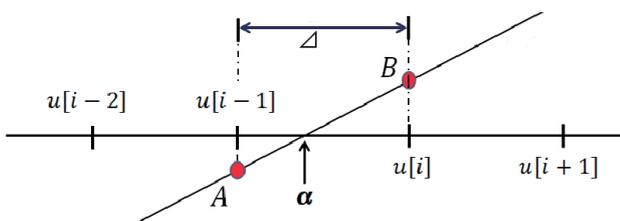


図 1 ゼロクロス点の直線補間

4 シミュレーションによる評価

先行研究で提案されたゼロクロスパルスカウント法 [3] と比較して提案法の評価を行う。2 つの方式によって、推定した基本周波数から作成した参照信号を用いた雑音除去から得られた所望信号 $e(k)$ と、生体電気信号 $s(k)$ との誤差 $error$ の大きさを式 2 によって求め、比較する。また、周波数変動する程度による影響や、クロックパルス周波数 f_{cp} の変化による影響もそれぞれの方式について測定した。

$$error = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^n (e(k) - s(k))^2 \quad (2)$$

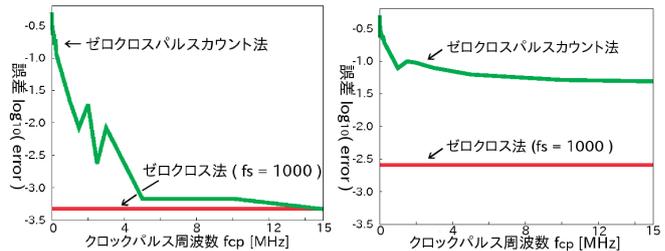


図 2 周波数変動のない場合

図 3 周波数変動がある場合

ここでは交流雑音の周波数変動がない場合、周波数変動がある場合それぞれにおいて、ゼロクロス法はサンプリング周波数 $f_s = 1\text{kHz}$ としゼロクロスパルスカウント法はクロックパルス周波数 f_{cp} の値を 1kHz から 15MHz まで変化させその誤差を測定し図 2,3 に対数表示をした。周波数変動のない場合では、 f_{cp} を 15MHz まで大きくするとゼロクロスパルスカウント法がゼロクロス法の誤差に追いつくが、低いサンプリング周波数では十分な精度が得られない。また、周波数変動のある場合ではサンプリング周波数の増加に伴う誤差の減少の幅も小さく、 f_s が 15MHz のときでもゼロクロス法の誤差を下回ることができていない。周波数変動のある場合におけるゼロクロス法との精度の差は、顕著であり提案法の有効性がわかる。

5 結論及び今後

数値実験の結果より、ゼロクロス法を用いることで生体電気信号測定における通常のサンプリング周波数でソフトウェア的かつ既存の方法よりも高精度で基本周波数を推定できると考えられる。今後は、補間する関数の次数を高くすることで精度向上につながる可能性があるため、ゼロクロス点の補間方法についても検討が必要である。

参考文献

- [1] 戸田尚宏：パルス状信号に混入する交流雑音の適応フィルタによる除去法とそのフラッシュ光網膜電位図への適用:電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J94-D, No.10, pp.1685-1695, 2011.
- [2] 大高康博・谷川篤弘・島田佳明・上田伊代・堀口正之:Pulse reference power line noise reduction を用いた皮膚電極 ERG の記録, 眼科臨床紀要 4, 1064-1067, 2011.
- [3] 大橋裕史: 周波数カウンタによる周波数情報を用いた適応交流ノイズキャンセラ, 愛知県立大学 卒業論文, 2013.