

小型マイコン向け周期解析アルゴリズムの推定精度向上に関する研究

情報科学科 前田 哲志

指導教員：佐々木 敬泰

1 はじめに

非接触バイタルセンシングとは、身体にセンサーを装着せず、心拍や呼吸などの生体情報を測定することである。非接触バイタルセンシングにより日常生活をより安全かつ効率的に行うことができると期待されている [1]。ある信号に対して、周期推定を行うアルゴリズム「ARS」が提案されている [2]。しかし、ARS を 8bit の小型マイコンに実装するにはメモリ容量が不足している。そこで、ARS の派生アルゴリズムである差分絶対値和を用いた周期推定方法、階層型 ARS-SAD (以降、「HARS-SAD」と呼ぶ) に着目した。HARS-SAD を改良することで推定精度を向上させることが本研究の目的である。

2 HARS-SAD の概要と問題点

本章では、HARS-SAD の概要と問題点について説明する。

2.1 HARS-SAD の概要

ARS-SAD とは、入力信号の積算値ではなく差分絶対値和 (SAD; Sum of Absolute Difference) を用いて周期を推定するアルゴリズムである。 i 番目の入力データを x_i 、入力データ数を N 、推定する周期の範囲を $T_0 \sim T_1$ とすると、ある $t (T_0 < t < T_1)$ に対して、 t だけ離れたデータとの差分絶対値和 S_t は、

$$S_t = \sum_{i=0}^{N-t-1} |x_i - x_{i+t}|$$

となる。入力信号の周期が t' であった場合、 $S_{t'}$ は最小となる。つまり、 S_t が最小となる t を求めることで周期を推定できる。

図 1 を用いて説明する。入力信号の周期が $t' = 4$ で信号は $(2, 4, 0, 1, 2, 4, \dots)$ であったとする。 $i = 0$ の場合だけ考え、 $t = 3, 4$ として前述のアルゴリズムを用いる。結果として、 $t = 3$ の時 $S_3 = 7$ 、 $t = 4$ の時、 $S_4 = 0$ となる。最小値は $t = 4$ であり、 $t' = t$ となるので推定成功である。

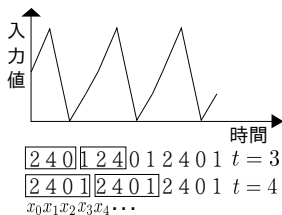


図 1: ARS-SAD の概要

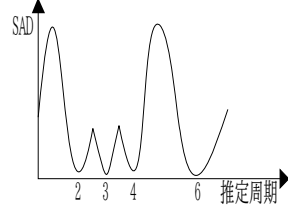


図 2: 複数ピークの例

極小値となった部分を「ピーク」と呼ぶ。前述の例の場合、 $t = 4$ がピークとなる。ARS-SAD は ARS と比較して小容量のメモリで実現できるが、メモリ容量の少ない 8bit 小型マイコンでは実装が困難である。そこで、ARS-SAD を階層的に複数回行う事で、必要となるメモリ容量を更に削減した HARS-SAD が提案されている。HARS-SAD は、第一探索では粗い粒度でおおよその周期を推定する。図 3 では間隔 1 でおおよその周期を推定し、5 と推定した。第二探索では、同じメモリ領域を用いて細かい粒度でより正確な周期を推定する。図 4 では間隔 0.1 で細かく推定し、5.1 と推定した。

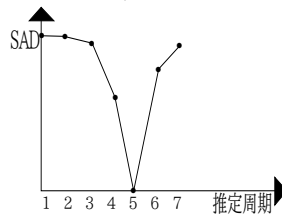


図 3: 第一探索

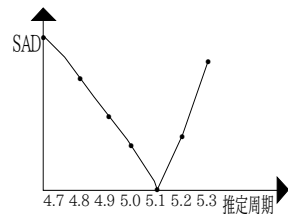


図 4: 第二探索

2.2 問題点

SAD を階層型にしたことにより、問題点が 2 つ挙げられる。1 つ目は、第一探索を終える条件を必要とすることである。従来の HARS-SAD では、一定の時間で第二探索に移行していたが、ピーク値に対する条件を設けていないので正確な推定を行うことができない。2 つ目は、図 2 のように複数のピークが出た際に、推定することができないことである。複数のピークが発生する要因には、ノイズによるものと、入力データの周期の整数倍によるものがある。

3 提案手法の概要

本章では第 2.2 節で挙げたそれぞれの問題を解決するためのアルゴリズムを提案する。

3.1 第二探索への移行する条件

まず、第二探索へ移行するタイミングを動的に決定する手法を提案する。従来手法では一定時間で第二探索へ移行していたため、入力データにノイズが少ない、あるいは信号強度が十分に強い場合には必要以上に初期探索を行っていた。一方、ノイズが大きかったり、信号強度が弱い場合には、第一探索で正確な候補点が見つかっていないにもかかわらず第二探索に移行していたため十分な精度が得られないという問題があった。そこで、推定された値に対して条件を設けた。具体的には、ピーク値を推定範囲 $T_0 \sim T_1$ の SAD 値の平均値で割った値が閾値より小さければ第二段階に移行するという条件である。その条件の閾値は試行を繰り返すことで動的に決定される。

3.2 複数ピーク値に対する周期の推定方法

次に複数のピークが得られた際に判別できない問題を解決する手法を提案する。推定周期が入力信号の周期の整数倍で出ることが自明である。例えば、周期 2 の波形がある時、2 の整数倍である 4, 6, 8, ... とピーク値が出る。従って、複数ピークがある場合には一番短い周期を持つピークを推定周期とした。また、ノイズに起因したピークは整数倍では出ないので、ピーク値の整数倍を見ることがノイズによるピークか否かを判断した。ノイズによるピーク値の場合、時間が経過するとピーク値ではなくなるので、計測時間を増加させることで正確な周期推定を行う。

4 評価結果

入力データはノイズを付加した sin 波である。周期は 2.5 秒で、ノイズは正規分布に従っており、SN 比の範囲は -30 ~ 30 [dB]、試行回数は 1000 回である。SN 比を変化させることで推定成功率に変化が見られるかを評価した。図 5 から、提案手法を用いることで推定精度を向上することができた。要因として、ノイズや整数倍でピークが出た部分を正確に判断したからだと推測できる。

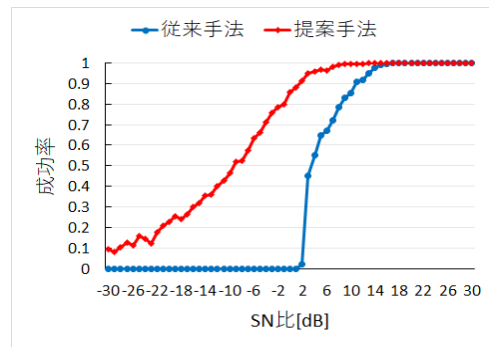


図 5: 推定成功率の比較

5 おわりに

本研究では、8bit マイコンに実装できる周期推定アルゴリズムを改善した。提案手法では従来の HARS-SAD よりも推定精度を向上することができた。今後の研究としてプリント基板の制作、HARS-SAD のワンチップ化が目指せる。

参考文献

- [1] C. Li, V.M. Lubecke, O. Boric-Lubecke, and J. Lin. A review on recent advances in Doppler radar sensors for noncontact healthcare monitoring, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 61, No. 5, pp.2046-2060, 2013.
- [2] KAMIYA, Yukihiro. A simple parameter estimation method for periodic signals applicable to vital sensing using Doppler sensors. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, pp.378-384, 2017.