

確率共鳴現象を利用した周期的微弱信号検出における信号対雑音比の改善

1230376 三宅 天太 【ワイヤレスネットワーク研究室】

1 はじめに

確率共鳴現象を利用した信号の検出方法はデジタル信号処理や生体信号の研究などに応用されている。確率共振器としてレベルクロッシング検出器 (level-crossing detector: LCD) を用いた研究において、周期的パルス信号列を検出する際の信号対雑音比 (signal-to-noise ratio: SNR) が4桁以上も改善されることが報告されている [1]。しかし、物理学分野で古典的方法 (classical way) とされている SNR の定義が用いられている。本研究では情報通信分野でよく用いられる平均2乗誤差で評価を行い、古典的方法と呼ばれる方法で求めた SNR の改善量と比較する。

2 LCD による信号検出

2.1 入力パルス列

本研究では、LCD への入力信号 $x(t)$ を $x(t) = s(t) + n(t)$ とし、 $s(t)$ は次式である。

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t-nT), p(t) = \begin{cases} A & (0 \leq t \leq \tau_0) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $n(t)$ は平均が0、分散が σ^2 のガウスノイズでカットオフ周波数が f_c の低域通過特性を持つものとする。 $F = \tau_0/T$ はデューティー比と呼ばれる。

2.2 LCD 特性

本研究で用いる LCD は、LCD が持つ閾値 U_t を入力 $x(t)$ が超えた各タイミングにおいて振幅が A 、時間幅が τ_0 の矩形パルスを発火する。LCD が出力するパルス列を $y(t)$ とする。その他、 $A < U_t$ 、 $\sigma \ll U_t$ 、 $U_t - \sigma < A$ 、 $1/\tau_0 \ll f_c$ が LCD をうまく動作させるための目安となる条件である [1]。

2.3 SNR

本研究では2通り方法で SNR の改善量を求める。方法1の古典的方法と呼ばれる SNR は次式を用いる。

$$\text{SNR} = \frac{\lim_{\Delta f \rightarrow 0} \int_{f_0 - \Delta f}^{f_0 + \Delta f} S(f) df}{S_N(f_0)} \quad (2)$$

上式において f_0 は $s(t)$ の基本周波数、 $S(f)$ は入力の SNR である SNR_{in} の計算では $x(t)$ のパワースペクトル、出力の SNR である SNR_{out} の計算では $y(t)$ のパワースペクトル、 $S_N(f_0)$ は f_0 近傍のノイズのパワースペクトル値で、本研究では f_0 の両側2サンプルの平均とする。上式により、 SNR_{out} と SNR_{in} の比により SNR の改善量を求める。

方法2では、入力 $x(t)$ 、出力 $y(t)$ に対する平均2乗誤差である $e_x = E[(x(t) - s(t))^2] = \sigma^2$ と $e_y = E[(y(t) - s(t))^2]$ の比により SNR の改善量を求める。

3 実験結果

文献 [1] を参考にして、 $A = 9$ 、 $U_t = 10$ 、 $F = 1/128 \sim 1/2$ とし、方法1で求めた SNR の改善量を図1に、方法2で求めた SNR の改善量を図2に示す。図1、図2共に横軸は入力ガウスノイズの実効値 σ である。

図1、図2共に似た傾向が得られたが、大きさには差がある。図1は $F = 1/128$ の場合に SNR の改善量が4桁を超えることがあるが、図2では2桁程度である。

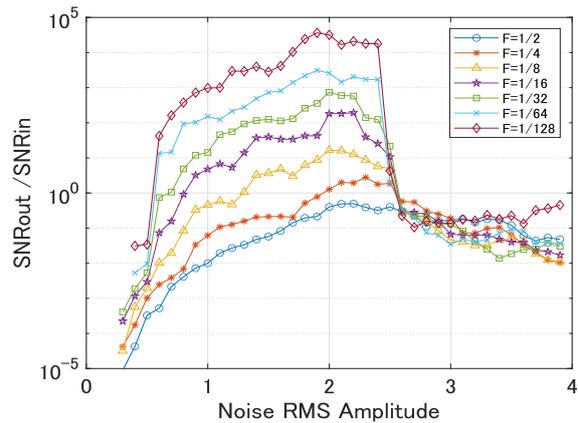


図1 古典的方法と呼ばれる方法で求めた SNR の改善量 (3 点の単純移動平均)

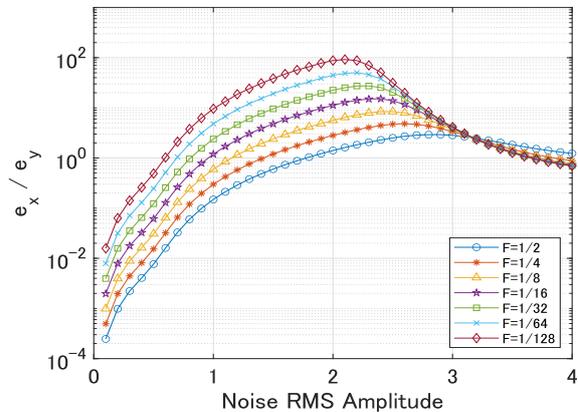


図2 平均2乗誤差で求めた SNR の改善量

4 まとめ

本研究では周期的パルス信号列の検出のための確率共振器として LCD を用いることで、入出力の SNR がどのように改善されるか検討した。古典的方法と呼ばれる方法と平均2乗誤差に基づく方法で SNR の改善量を求めた結果、同様の傾向はあるが改善量の値には開きがあることが分かった。

参考文献

- [1] K. Loerincz, Z. Gingl, and L.B. Kiss, "A stochastic resonator is able to greatly improve signal-to-noise ratio," Physics Letters A, vol.224, pp.63-67, Dec.1996.
- [2] Z. Gingl, R. Vajtai, and L.B. Kiss, "Signal-to-noise ratio gain by stochastic resonance in bistable system," Chaos, Solitons and Fractals, vol.11, pp.1929-1932, 2000.