

Schmitt Trigger を用いた確率共鳴受信機の実装に関する一検討

A Study on Implementation of Stochastic Resonance Receiver using Schmitt Trigger

千賀敬太¹ 田中裕也¹ 山里敬也¹ 田所幸浩² 荒井伸太郎³
Keita CHIGA Hiroya TANAKA Takaya YAMAZATO Yukihiro TADOKORO Shintaro ARAI

名古屋大学¹ 株式会社 豊田中央研究所² 香川高等専門学校³
Nagoya University TOYOTA Central R&D Labs., Inc. Kagawa National College of Technology

1 まえがき

確率共鳴 (Stochastic Resonance:SR) は特定の非線形系において、信号に適切な雑音を与えることにより出力の応答が向上する現象である。確率共鳴を適用することにより従来の受信機では検出が困難であるような微弱な信号を検出できる可能性がある [1]。確率共鳴を適用した受信機 (確率共鳴受信機) はシミュレーションによりその特性が評価されているが、実機における検討は未だなされていない。本稿では、この確率共鳴を実現する回路として Schmitt Trigger (ST) を考え、その実装に関してシミュレーションおよび実験により評価する。

2 システムモデル

図 1 に本稿で想定する確率共鳴受信機の構成を示す。受信信号は通信路雑音 $n_c(t)$ および故意に与えられる内部雑音 $n_{SR}(t)$ が加えられ、確率共鳴系である ST へ入力される。ST において確率共鳴を利用して微弱信号を検出することが可能である。ST の出力は復調回路へ入力され、受信データが得られる。

ST はヒステリシスを持つコンパレータであり、確率共鳴が生じることが知られている。ST はオペアンプを用いることで容易に構成することができる。

理想的な場合、ある瞬間における ST の入力を x_n とすると、出力 y_n は以下の式で表される。

$$y_n = \begin{cases} +V_o & \text{if } x_n > \eta \\ -V_o & \text{(otherwise).} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 V_o は ST の出力電圧の絶対値、 η はしきい値電圧であり、直前の ST の出力 y_{n-1} により以下の式で与えられる。

$$\eta = \begin{cases} +V_{th} & \text{if } y_{n-1} = -V_o \\ -V_{th} & \text{if } y_{n-1} = +V_o. \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 V_{th} はとりうるしきい値電圧の絶対値である。

3 シミュレーションおよび実験

シミュレーションによる理想的な ST および実機実験による ST の雑音電力スペクトル密度-出力 SNR 特性を測定し比較評価する。図 2 に測定系を示す。実験においては ST のしきい値 $\eta = 200\mu\text{V}$ 、信号を振幅 $A = 50\mu\text{V}$ 、周波数 $f = 1.2\text{kHz}$ の正弦波信号とし、減衰器を通した後に雑音を加える。実験においては通信路雑音と内部雑音を同一とみなし、雑音源より平均ゼロ、分散 $\sigma^2[\text{V}^2]$ のガウス雑音を信号に加え ST へ入力する。ST の出力を AD 変換し信号周波数の電力と雑音電力スペクトル密度から出力 SNR を得る。

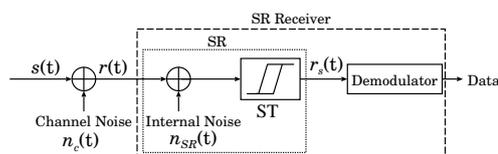


図 1 確率共鳴受信機の構成。

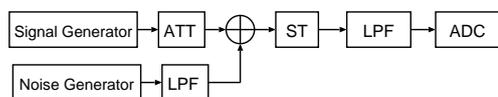


図 2 測定系。

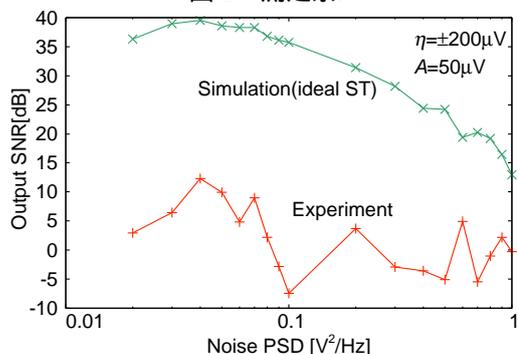


図 3 シミュレーションおよび実験における SNR 特性。

シミュレーションおよび実験の結果を図 3 に示す。この結果から、シミュレーションによる理想的な ST の場合には確率共鳴による SNR のピークが見られ、高い SNR が得られている。しかし、実験ではそれに対して明らかなピークは見られず低い値となっている。この原因として ST で用いたオペアンプの増幅度が有限であることが考えられる。今回実験で使用したオペアンプの開ループ利得はおよそ 85dB であり、ST が動作するのに必要な最小入力電圧は $180\mu\text{V}$ となる。したがって、入力信号 $r(t)$ がこの値より小さい場合には ST が正常に機能しないために SNR が減少したと考えられる。また、さらに微弱な信号を検出するためには ST のしきい値 η を小さくしなければならぬが、この設定が困難になると考えられる。以上から、ST を用いた確率共鳴受信機の実装には ST の増幅度およびしきい値の設定について考慮する必要があると考えられる。

謝辞

日頃熱心にご指導頂く、名古屋大学エコトピア科学研究所教授片山正昭先生、准教授岡田啓先生、助教小林健太郎先生に深く感謝する。

参考文献

- [1] 千賀敬太, 田中裕也, 山里敬也, 田所幸浩, 荒井伸太郎, "Schmitt Trigger 回路を利用した確率共鳴バイポーラパルス受信機の実装に関する一検討," 第 5 回複雑コミュニケーションサイエンス研究会, 2013 年 3 月。