

受信感度下の双極パルス検出のための確率共鳴受信機の特性解析

A performance analysis of the stochastic resonance receiver for the subthreshold bi-polar pulse detection

田中裕也¹ 千賀敬太¹ 山里敬也¹ 田所幸浩² 荒井伸太郎³
 Hiroya TANAKA Keita CHIGA 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 背景と目的

確率共鳴 (SR) は雑音電力の増大と共に系の応答を高める効果を持つ [1]。この確率共鳴を受信機に適用することにより、従来の受信機では検出できない受信感度下の信号を通信に利用することが可能である。

本稿では、確率共鳴との親和性の高い双極パルス信号検出において、確率共鳴受信機の解析手法を考案し、受信機の誤り率 (BER) 特性を評価する。

2 システムモデル

システムモデルを図1に示す。データ信号は、データ系列 $d_i \in \{+1, -1\}$ を用いて、次式で示される。

$$b(t) = \sum_i d_i \psi(t - iT_b). \quad (1)$$

ここで、 i は時刻を表すインデックス、 T_b はシンボル継続時間、 $\psi(t)$ は $0 \leq t < T_b$ 以外では $\psi(t) = 0$ 、 $1/T_b \int_0^{T_b} \psi^2(t) dt = 1$ の矩形波である、

通信路上で平均0、分散 σ_c^2 のガウス雑音 $n_c(t)$ が加わり、受信ベースバンド信号は

$$r(t) = Ab(t) + n_c(t) \quad (2)$$

となる。A は受信信号振幅とし、受信感度以下であるとすると、ここで、さらに平均0、分散 σ_{SR}^2 のガウス雑音 $n_{SR}(t)$ を加えて、受信感度を越えた信号を判定に利用する。

3 解析手法

コンパレータ入力 $r'(t) = Ab(t) + n_c(t) + n_{SR}(t)$ において、出力 $y(t)$ は η を受信感度として

$$y(t) = \begin{cases} +V & (r'(t) > +\eta) \\ -V & (r'(t) < -\eta) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

で与えられる。このとき、 $y(t) = +V$ となる確率は、

$$P[y(t) = +V] = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{+\eta - Ab(t)}{\sqrt{2(\sigma_c^2 + \sigma_{SR}^2)}}\right) \quad (4)$$

となる。ここで、 $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{+\infty} \exp(-t^2) dt$ とした。 $P[y(t) = -V]$ も同様に示される。

1シンボルあたり N 回サンプルしたとき、受信感度 $+\eta$ を x 回、受信感度 $-\eta$ を y 回超える確率は以下の多項分布で示される。

$$P(x, y) = \frac{N!}{x!y!(N-x-y)!} P_+^x P_-^y (1 - P_+ - P_-)^{N-x-y} \quad (5)$$

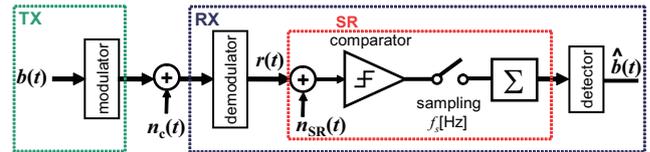


図1 システムモデル。

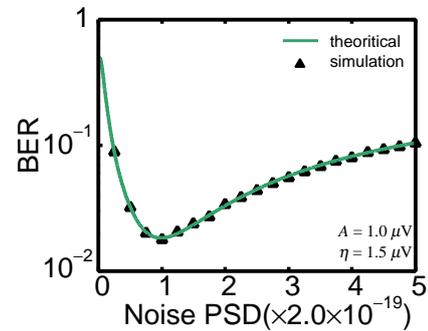


図2 BER 特性。

ここで、 $P_+ = P[r'(t) > +\eta]$ 、 $P_- = P[r'(t) < -\eta]$ とした。判定ではサンプルした出力結果の最も多かったものをシンボルとして判定する。よって、BER は

$$\text{BER} = 0.5P[X < Y | d_i = +1] + 0.5P[X > Y | d_i = -1] + 0.5P[X = Y] \quad (6)$$

となる。

4 数値例

図2に解析結果を実線で、シミュレーション結果を点で示す。このとき、シンボル継続時間 $T_b = 1.0 \mu\text{s}$ 、1シンボルあたりのサンプル数を10とし、受信信号振幅Aは受信感度 η 以下とした。また、シミュレーションの試行回数を 10^5 回とした。図より、雑音を加えることでBERが低下することが示された。また、解析結果はシミュレーション結果と一致した。

5 むすび

本稿では、受信感度下の双極パルス検出のための確率共鳴受信機の解析手法について説明した。そして、BERの非線形特性が確認され、解析結果がシミュレーション結果と一致することが示された。

6 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] B. McNamara, and K. Wiesenfeld, "Theory of stochastic resonance," *Phys. Rev. A*, Vol. 39, No. 9, pp. 4854-4869, May 1989