

受信感度下の双極パルス検出のための 確率共鳴受信機の受信感度に関する一考察

A Study on the Signal Sensitivity of 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]. 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誤り率特性を示し, 確率共鳴受信機の受信感度について考察する.

2 システムモデル

システムモデル (図 1) において, 受信信号を確率共鳴系の入力とし, 得られた出力を用いて判定を行う. 受信ベースバンド信号は以下の式で示される.

$$r(t) = Ab(t) + n_c(t). \quad (1)$$

上式において, A は受信信号振幅, $b(t)$ はデータ系列 $d_i \in \{+1, -1\}$ において振幅 ± 1 を持つ双極パルス, $n_c(t)$ を通信路上で加わる雑音とし, 平均 0, 分散 σ_c^2 のガウス雑音とする. このとき, 受信信号レベルは受信感度以下とする. よって受信感度を η とすると, 以下の関係が成り立つ.

$$A < \eta. \quad (2)$$

確率共鳴系では, 受信信号にさらに平均 0, 分散 σ_{SR}^2 のガウス雑音 $n_{SR}(t)$ を加えることで, 受信感度下の信号を検出し得られた出力を判定に用いる.

本稿では, 確率共鳴系としてコンパレータを用いた系を用いる. コンパレータの入力には, 受信信号に恣意的な雑音 $n_{SR}(t)$ を加えた $r'(t) = Ab(t) + n_c(t) + n_{SR}(t)$ が与えられる. このとき, コンパレータ出力 $y(t)$ は $r'(t) > +\eta$ では $+V$, $r'(t) < -\eta$ では $-V$, それ以外では 0 となる.

次に, シンボルあたり N 回サンプルしたときを考える. このとき, 判定では得られたサンプルの内どちらが多い方をシンボルとして判定する. よって誤り率は, 受信感度 $+\eta$ を超えた回数を $X \in \{0, 1, \dots, N\}$ 回, 受信感度 $-\eta$ を超えた回数を $Y \in \{0, 1, \dots, N\}$ 回とすると以下の式で示される [1].

$$\begin{aligned} \text{BER} = & P[X < Y | d_i = +1]P[d_i = +1] \\ & + P[X \geq Y | d_i = -1]P[d_i = -1] \end{aligned} \quad (3)$$

3 数値例

本節では, 確率共鳴受信機の重要なパラメータとして 1 シンボルあたりのシンボル数 N に着目し, N をパラメータとしたときの確率共鳴受信機の誤り率特性を示す.

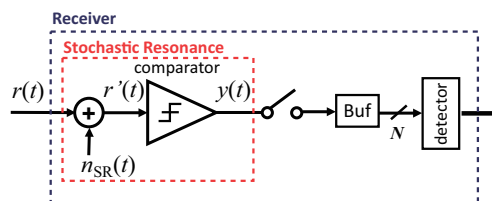


図 1 システムモデル.

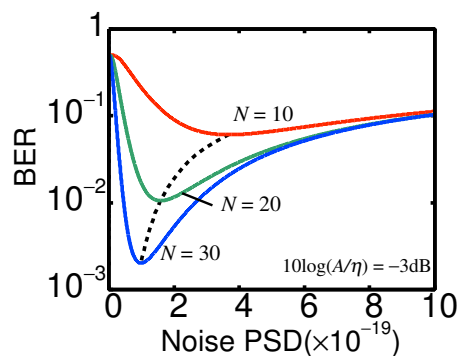


図 2 誤り率特性.

図 2 に解析結果を実線で示す. 横軸は恣意的に加える雑音 PSD, 縦軸は誤り率である. このとき, 通信路上で加わる雑音 PSD = 4.1×10^{-21} W/Hz, 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 $N = 10, 20, 30$ とし, $10 \log(A/\eta) = -3 \text{dB}$ の様に受信感度以下の信号を受信する場合を想定する. また, 点線は N を 10~30 に変えたときの誤り率の極小値を示している. 図より, 雑音を加えることで BER が低下し, 受信感度以下の弱い信号でも通信可能であるといえる. また, N の増大により誤り率特性は変わるため, 確率共鳴受信機において所望の誤り率を得るためには N を最適に決定する必要がある. 例えば, 要求仕様 $\text{BER} < 10^{-2}$ とすると, 受信感度より 3dB 小さい信号の場合 $N > 20$ であれば良いことが分かる. このように, 確率共鳴受信機の受信感度を定める要因として N は重要なパラメータであることが分かる.

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] 田中裕也, 千賀敬太, 山里敬也, 田所幸浩, 荒井伸太郎, “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長解析” 電子情報通信学会 総合大会, A-2-13, p. 40, Mar. 2013