

受信感度以下の双極パルスを想定した 確率共鳴受信機の受信感度向上率限界の導出

Derivation of the Max of Sensitivity Improvement Rate of Stochastic Resonance Receiver for Subthreshold Bi-Polar Pulse

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) 系は雑音に対して系の応答が改善される特性を持つ [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すらできない受信感度以下の信号を受信できる可能性がある。本稿では、確率共鳴との親和性の高い双極パルスを想定したときの確率共鳴受信機の受信感度向上率限界を求める。

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し、受信感度を η とすると、以下の関係が成り立つ。

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

次に、受信信号に平均 0、分散 σ_{SR}^2 のガウス雑音 $n_{SR}(t)$ を恣意的に加えたものをコンパレータ入力 $r_{SR}(t)$ として与える。雑音量を適切に調整することにより受信機では受信感度以下の信号の情報を復元できる。このときの雑音量は通信路雑音と恣意的な雑音の和であり、確率共鳴受信機の誤り率が最小になるときの電力密度スペクトルを PSD_{opt} とする。最後にコンパレータ出力を 1 シンボルあたり N 回サンプルしデータを復元する。このとき、 N は通常の線形受信機よりも大きくとる必要がある。

先行研究 [1] において、確率共鳴受信機の誤り率特性解析手法を提案した。本稿では、その結果を用いて確率共鳴受信機の受信感度向上率限界を導出する。このとき、受信感度向上率を $20 \log(\eta/A)[dB]$ として示す。

3 数値例

図 2 に受信感度向上率が 3dB ときの $PSD_{opt} - N$ 特性を示す。このとき、受信感度 $\eta = 1.0 \mu V$ 、通信路雑音 $PSD_c = 4.1 \times 10^{-21} W/Hz$ とした。図において、 N が上昇すると PSD_{opt} は減少することが分かる。これは N の増大と共に雑音帯域が広がるためである。加えて、 N が上昇すると確率共鳴による効果が高まり誤り率は減少していく。図中のプロットはそれぞれ $BER < 10^{-1}$ 、 $BER < 10^{-2}$ を達成できる最小の N をとる点 ($N = 5, N = 11$) を示しており、矢印の向きに誤り率は減少していく。

次に、受信感度向上率を 3dB から 13dB に 1dB 刻みで変化させたときの $PSD_{opt} - N$ 特性を図 3 に示す。図にお

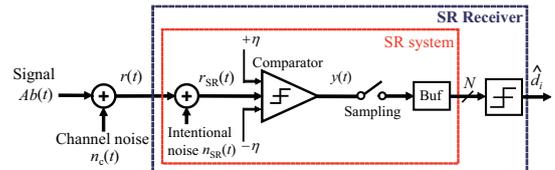


図 1 システムモデル。

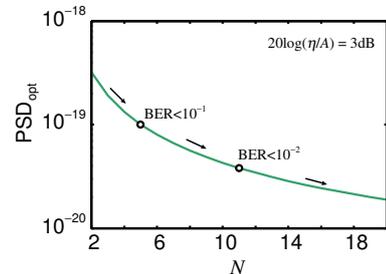


図 2 受信感度向上率が 3dB のときの $PSD_{opt} - N$ 特性。

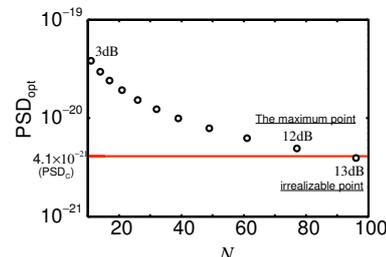


図 3 受信感度向上率を変化させたときの $PSD_{opt} - N$ 特性。

いて、プロットは各受信感度向上率において $BER < 10^{-2}$ を達成できる最小の N をとる点を示しており、 N を増やすことで要求誤り率を達成できる受信感度向上率は上昇していくことが分かる。一方、 PSD_{opt} は N の増大と共に減少していく。通信路雑音 PSD_c は不変であるため、 $PSD_{opt} > PSD_c$ でなければならない。よって、図中の受信感度向上率が 13dB をとる点は、恣意的な雑音 PSD が負であることを示しており実現できない。よって、数値例において、受信感度向上率の最大は 12dB ($N = 77$) となり、この値が確率共鳴受信機の受信感度向上率限界を示していることが分かる。

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科教授片山正昭先生、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受信感度に関する一考察” 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, A-2-14, p. 33, Sep. 2013