

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630174

研究課題名(和文) 確率共鳴現象による超微弱通信

研究課題名(英文) Extremely-Low Signal Communication using Stochastic Resonance

研究代表者

山里 敬也 (YAMAZATO, Takaya)

名古屋大学・教養教育院・教授

研究者番号：20252265

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：確率共鳴現象とは、システムへの入力雑音の増大と共にそのシステムの応答が向上する現象である。本研究では、確率共鳴現象の通信への応用を検討する。具体的には、確率共鳴現象を応用することで従来の受信機では感知することすらできない微弱信号(sub-threshold signal)による通信の実現に挑戦する。確率共鳴現象を通信へ応用することで微弱信号(sub-threshold signal)を用いた極低電力通信システムが実現でき、また、エネルギーハーベスティングを利用することでグリーンワイヤレス、グリーンネットワークを実現できる。本研究では、そのための基盤技術の構築を目的とする。

研究成果の概要(英文)：Stochastic resonance (SR) is an interesting phenomenon in that noise enhances system response. Despite attractive phenomenon of SR that noise enhances system response, enhancement of the weak signal below device sensitivity, and few researchers have addressed the SR effect in communication systems. This study challenges the SR effect in communication systems. The research focuses on the problem in which communication cannot be established when the received signal strength is below receiver sensitivity. Overcoming receiver sensitivity introduces new and attractive challenges in wireless communication systems. If receiver sensitivity can be lowered, we can simultaneously reduce transmission power and interference to other users. Low-power wireless systems can provide solutions for both energy-efficient green wireless communications and wireless spectrum shortage.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：確率共鳴 微弱信号 sub-threshold signal 極低電力通信システム

1. 研究開始当初の背景

確率共鳴現象とは、システムへの入力雑音の増大と共にそのシステムの応答が向上する現象である。図1に確率共鳴システムにおける入力雑音電力に対する出力 SNR 特性のイメージ図を示す。従来システムでは、入力雑音の増加と共に出力 SNR が低下する。これに対し、確率共鳴システムでは、入力雑音の増加と共に出力 SNR が向上する。

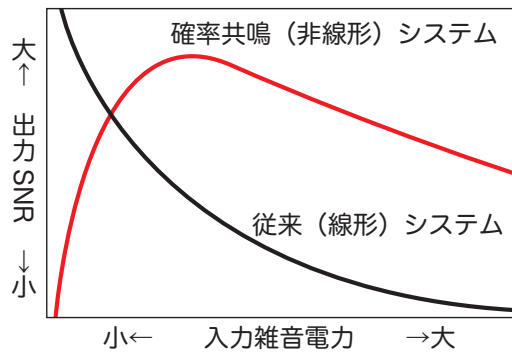


図1 入力雑音電力に対する出力 SNR 特性

本研究では、出力 SNR が最大となるように入力雑音電力を制御することで、受信機の応答特性を向上させ、受信機が持つ信号感知限界を下回る信号 (sub-threshold signal) でも通信ができる通信システムの基盤構築を目指す。

これまで、確率共鳴の通信への応用については、検討が少なかった。確率共鳴現象を通信へ応用することで微弱信号 (sub-threshold signal) を用いた極低電力通信システムが実現でき、また、エネルギーハーベスティングを利用することでグリーンワイヤレス、グリーンネットワークを実現できる。

2. 研究の目的

本研究では、確率共鳴現象の通信への応用を検討する。具体的には、確率共鳴現象を応用することで従来の受信機では感知することのできない微弱信号 (sub-threshold signal) による通信の実現に挑戦する。また、そのための基盤技術の構築を目的とする。

3. 研究の方法

図2に本研究で検討する確率共鳴受信機のご概念図を示す。一般には二状態をもつ非線形システムあるいは非線形デバイスに、ある周期的な振動と適度な雑音を加わることで生じる現象を指す。

通信の場合、そこで用いる信号そのものが周期信号であり、また、通信路で雑音に加わる。このため、確率共鳴系との親和性が良く、よって幅広い応用が期待できる。本研究では、以上の点に着目し、通信システムに確率共鳴

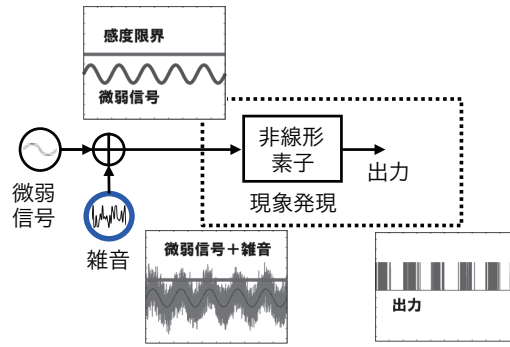


図2 受信感度以下の微弱信号に対する確率共鳴受信機

現象を応用することで従来の受信機では感知することすらできない微弱信号 (sub-threshold signal) による通信の可能性を見だし、検討を重ねてきた。本研究の斬新性・チャレンジ性はこの点にある。

さて、通常の実験では、受信信号が受信感度以下のため感知することすらできない。これに対し、確率共鳴受信機では、出力 SNR が最大となるような雑音を受信機で故意に付加することで受信機の応答特性を向上させる。たとえば、図2の場合、受信信号+雑音が受信感度限界を超える。これにより、受信機が信号を検知することができ、信号受信できるようになる。

平成26年度は、確率共鳴受信機の基本特性についての理論解析および簡単なスケールモデルを用いた実験を行い、従来の受信機で検知できる最小の受信信号電力の1/2 (-6dB) に満たない信号でも受信できることを多面的に検討し、その実現に向けた基礎検討を行った。具体的には、確率共鳴受信機の受信誤り率特性を理論的に導出した。また、簡単な確率共鳴受信機を作製した。

平成27年度は、平成26年度の検討を発展させ、より現実的な通信環境を想定して検討を行った。具体的には、平成26年度に構築したスケールモデルを用いて受信機の感度以下の信号を入力させた場合の通信実験を行った。具体的には、確率共鳴受信機を試作し、また、その後段に通常受信機 (ソフトウェア無線機) をおくことで、より現時的なシステム構成として、検討を行った。また、確率共鳴受信機の高周波素子として、コンパレータ、シュミットトリガー、3レベルデバイスの3つを取り上げ、受信性能について理論的に検討を行った。

4. 研究成果

平成26年度の研究成果としては、確率共鳴受信機の実験誤り率特性を理論的に導出した点があげられる。具体的には、図3に示すシステムモデルを想定し、確率共鳴受信機の誤り率特性を導出した。ここで、入力信号は受信機の感度以下の信号 (sub-threshold signal) であり、よって、通常の実験では感

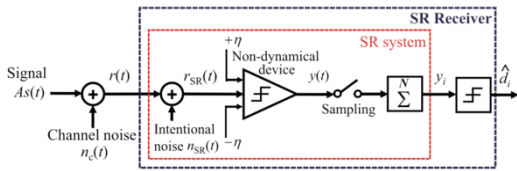


図3 システムモデル

知できない (図4(a)参照)。これに対し、受信側で故意に雑音を加えることで受信しきい値を超える超え、受信機で検知できるようになる (図4(b)参照)。これは、雑音を加えた後の信号が3状態、つまり、受信しきい値以上 (+ η)、あるいは以下 ($-\eta$)、あるいは検知されないのいずれかを取ることを意味する。以上を踏まえ、受信誤り率特性を理論的に導出した。この成果は、論文として、電子情報通信学会 NOLTA ジャーナルに掲載済みである。

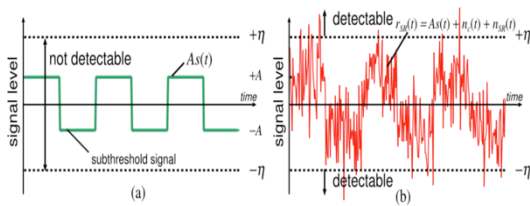


図4 (a) 受信しきい値以下の信号および (b) 恣意雑音を加えた信号 (受信しきい値を超え、受信機が検波できるようになる)

平成27年度は、より現実的な通信システムを想定した確率共鳴受信機を試作した。試作した確率共鳴受信機を図5に示す。

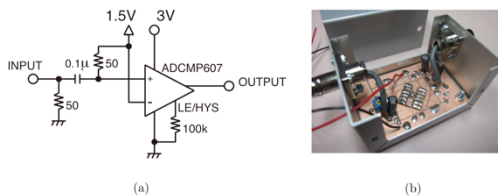


図5 (a) 回路図および (b) 試作機の写真

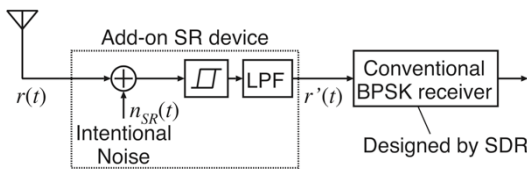


図6 システムモデル

具体的には、図6に示すように確率共鳴受信機として、通常受信機の前段、つまり、単に受信信号を受信しきい値以上に持ち上げる機能のみに限定し、実際の受信機としては通常の受信機 (実験ではソフトウェア無線機を使った) が利用できるように構成した。こうする

ことで、これまで培われてきた受信機の恩恵を受けつつ、受信しきい値以下の信号も受信できるようになる。この成果も電子情報通信学会 NOLTA ジャーナルに掲載済みである。

さらに、確率共鳴受信機の非線形素子として、コンパレータ、シュミットトリガー、3レベルデバイスの3つを取り上げ、受信性能について理論的に検討を行った。図7に結果を示す。

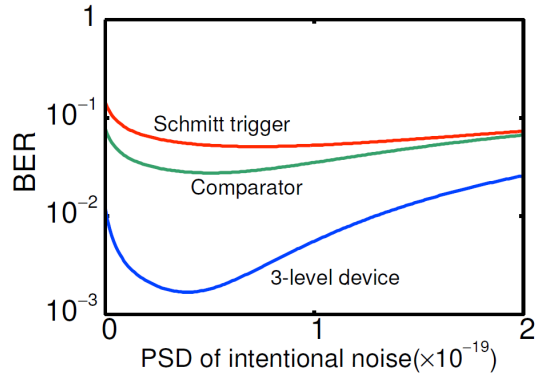


図7 コンパレータ、シュミットトリガー、3レベルデバイスのビット誤り率特性

図より明らかな様に、確率共鳴を発現する非線形素子としては、3レベルデバイスが最も誤り率特性が良い。この成果も電子情報通信学会 NOLTA ジャーナルに掲載予定である。

以上のように、確率共鳴現象を応用することで従来の受信機では感知することすらできない微弱信号 (sub-threshold signal) も受信可能であり、微弱信号 (sub-threshold signal) を用いた極低電力通信システムの基礎的な検討については、概ね達成できたと考えている。一方で、実際の通信システムとして利用するためには、様々な検討が必要なことも分かってきた。具体的には、通信システムで必須となる帯域制限フィルタの影響である。また、通信システムで一般に利用されている QAM 等、振幅成分に情報を持たせている変調方式と確率共鳴受信機は親和性が悪く、よって、振幅変動の無い、BPSK、QPSK などの相性が良いことが予想される。これらについては、本研究課題終了後も引き続き検討していく所存である。

一方で、確率共鳴現象の通信システムへの応用は、未だ緒に就いたばかりで、多くの研究者が参入している訳では無い。そもそも確率共鳴現象そのものが、あまり知られておらず、認知度が低い。このため、本研究課題も含め、確率共鳴の持つ可能性については、広く広報したく考えており、現在、当方のホームページで紹介していくことを考えている。

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計3件)

学術論文(計3件)

- ① H. Tanaka, T. Yamazato, Y. Tadokoro, S. Arai, Performance comparison of stochastic resonance receiver with Schmitt trigger, comparator, and three-level device for subthreshold signal reception, *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE (採録決定), 査読有, 2016年7月
- ② K. Chiga, H. Tanaka, T. Yamazato, Y. Tadokoro, S. Arai, Development of add-on stochastic resonance device for the detection of subthreshold RF signals, *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 6, no. 4, pp. 520-533, 査読有, 2015年10月, DOI:10.1587/nolta.6.520
- ③ H. Tanaka, K. Chiga, T. Yamazato, Y. Tadokoro, S. Arai, Noise-Enhanced Subthreshold Signal Reception by a Stochastic Resonance Receiver using a Non-Dynamical Device, *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 6, no. 2, pp. 303-312, 査読有, 2015年4月, DOI:10.1587/nolta.6.303

〔学会発表〕(計13件)

国際会議(計4件)

- ① H. Tanaka, T. Yamazato, Y. Tadokoro, S. Arai, A note on subthreshold signal reception using stochastic resonance receiver - Comparison of dynamical and non-dynamical devices -, 査読有, 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Application (NOLTA2015), Hong Kong, China, 2015年12月
- ② H. Tanaka, T. Yamazato, S. Arai, Performance Evaluation of Stochastic Resonance Receiver for Dynamical and Non-Dynamical Devices in QPSK Modulation, 査読有, International Workshop on Vision, Communications and Circuits (IWVCC' 15), Yokohama, Japan, 2015年11月
- ③ H. Tanaka, K. Chiga, T. Yamazato, Y. Tadokoro, and S. Arai, An Analysis Method of a Stochastic Resonance Receiver using a Schmitt Trigger, 査読有, International Symposium on Nonlinear Theory and its Application, pp. 193-196, Luzern, Switzerland, 2014年9月
- ④ K. Chiga, H. Tanaka, T. Yamazato, Y. Tadokoro, S. Arai, SNR Improvement by Stochastic Resonance Receiver for

Subthreshold Signal in Radio Frequency, 査読有, International Symposium on Nonlinear Theory and its Application, Luzern, Switzerland, 2014年9月

国内口頭発表(計7件)

- ① 田中裕也, 中島康雄, 山里敬也, 田所幸浩, 荒井伸太郎, 一樣雑音及び2値雑音を用いた確率共鳴受信機の誤り率特性改善, 電子情報通信学会 総合大会, NBS-1-1, pp. S-113 - S-114, 査読無し, 福岡, 2016年3月
- ② 中島康雄, 田中裕也, 山里敬也, 田所幸浩, 荒井伸太郎, 受信感度以下の帯域制限された BPSK 信号を想定した確率共鳴受信機の誤り率評価, 電子情報通信学会 総合大会, N-2-2, p. 369, 査読無し, 福岡, 2016年3月
- ③ 中島康雄, 田中裕也, 山里敬也, 田所幸浩, 荒井伸太郎, 受信感度以下の QPSK 信号を想定した確率共鳴受信機の誤り率評価, 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, K5-4, 査読無し, 名古屋工業大学, 2015年9月
- ④ 田中裕也, 千賀敬太, 山里敬也, 田所幸浩, 荒井伸太郎, BPSK と OOK における確率共鳴受信機の誤り率特性評価, 電子情報通信学会 総合大会, A-2-18, p. 49, 査読無し, 滋賀, 2015年3月
- ⑤ 千賀敬太, 田中裕也, 山里敬也, 田所幸浩, 荒井伸太郎, 無線通信への確率共鳴応用における雑音帯域の影響評価, 電子情報通信学会 基礎・境界サイエティ大会, A-2-7, p. 28, 査読無し, 徳島, 2014年9月
- ⑥ 田中裕也, 千賀敬太, 山里敬也, 田所幸浩, 荒井伸太郎, Schmitt trigger 確率共鳴受信機の誤り率特性評価, 複雑コミュニケーションサイエンス研究会, 査読無し, 北海道, 2014年8月
- ⑦ 荒井伸太郎, 山里敬也, 田所幸浩, LED 可視光通信のための Schmitt Trigger 回路を利用した確率共鳴受信機による光信号検出, 第27回回路とシステムワークショップ, pp. 116-120, 査読無し, 淡路島, 2014年8月

〔その他〕

ホームページ等

以下のホームページで研究成果の概要を公開予定している。

<http://tmdu.ilas.nagoya-u.ac.jp/stochastic-resonance>

研究協力者(名古屋大学大学院工学研究科博士課程の田中裕也および千賀敬太)の受賞

- ① 本研究で得られた成果に対し、田中裕也君が電子情報通信学会学術奨励賞を受

- 賞（2016年3月）
- ② 本研究で得られた成果に対し、千賀敬太君が電子情報通信学会学術奨励賞を受賞（2015年3月）

6. 研究組織

(1)研究代表者

山里敬也（YAMAZATO, Takaya）
名古屋大学・教養教育院・教授
研究者番号：20252265