HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ゆらぎを利用する非線形アナログ電子回路とディジタル信号処理システムに関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	石村, 憲意
Citation	北海道大学. 博士(情報科学) 甲第12185号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/61686
Rights(URL)	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Kazuyoshi_Ishimura_abstract.pdf (論文内容の要旨)

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（情報科学）　　氏名　石村 憲意

学　位　論　文　題　名

ゆらぎを利用する非線形アナログ電子回路とディジタル信号処理システムに関する研究
（Nonlinear Analog Electrical Circuits and Digital Signal Processing Systems exploiting Noise and Fluctuations）

本研究は、生物がゆらぎを利用して情報処理を行う仕組みを取り入れた電子回路システムを提案し、それによって生物科学の一端と半導体集積回路技術とを結びつける新しい機能集積回路の可能性を示したものである。

現代の汎用情報処理プロセッサは CMOS 素子の微細化により発展してきた。その基本方針は、ゆらぎ (素子バラツキや配線遅延バラツキ、クロストークノイズなど) の要素を極力排除するというものである。しかし、量子限界を目前とした現在、ゆらぎを排除して情報処理プロセッサを設計するアプローチは破綻を迎える一歩手前にあり、それを打破する新アーキテクチャの創出が急務である。一方、生物はゆらぎを排除せず、むしろ積極的に利用して情報処理を行うことがよく知られている。そこで本研究では、そのような仕組みを取り入れて情報処理システムを構築するための学術的基礎の構築を目的とした。本研究で得られた主要な成果は以下のとおりである。

(1) 内部ゆらぎを利用した二重井戸系回路の確率共鳴

確率共鳴は雑音を有効に利用した現象のひとつとして挙げられる。これは、二重井戸型ポテンシャル等の系に閾値下の微弱な信号が入力されている時に、外部の雑音を効果的に取り込むことによって信号の値が閾値を超え、状態遷移を可能にする現象である。一方で、カオス共鳴が近年注目されている。この現象は、複数のストレンジアトラクターを持ち、閾値下の信号が入力され得るカオス系において観測される。このようなカオス系では、系内部で生成されるカオスのゆらぎを利用する事で状態遷移を起こす為、従来の確率共鳴と異なり、外部雑音が不要である。本研究では、カオス共鳴を起こす条件を満たす系として Chua 発振器を用い、閾値下の信号として正弦波電圧を加えてカオス共鳴の観測を行った。ある入力周波数範囲では二つのアトラクター間でカオス的な遷移が起こり、他の範囲では状態が、一方のアトラクターにトラップされることを確認した。これらの動作が、カオス的なゆらぎが状態遷移に寄与していることを示している。さらに、カオス共鳴の度合いと系内部に発生するゆらぎの強さの関係を調べる為に入出力相関値や SNR を算出し、確率共鳴曲線に類似したカオス共鳴の特性が得られた。また、この Chua 発振器を並列化して共通の閾値下の入力を加えて同様の実験を行い、カオス共鳴下では相関値や SNR が向上する事を確認した。

(2) ゆらぎを利用する画像処理システム

ディジタルハードウェア実装に向け、反応拡散セルオートマトン (RD CA) モデルを用いたステガノグラフィ応用を示す。ステガノグラフィ (電子透かし) 技術は画像のようなデータに対し、他のデータ (メッセージ等) を埋め込む情報隠匿技術の一つである。近年、prey-predator モデルにより生成される自己組織化パターンによる秘匿通信アルゴリズムが提案されている。しかしながらこのモデルは非線形性が強くハードウェア実装が困難である。そこで、より単純なダイナミクスで縞や斑点模様を生成する RD CA モデルを利用し、メッセージの暗号化と復号化シミュレーションを

行った。このシミュレーション結果から、RD CA モデルがステガノグラフィのハードウェア実装に適することを示した。さらに、ここで提唱・実証した「ゆらぎ利用画像処理システム」を実現する基本アーキテクチャを提唱し、そのシミュレーションによる解析と FPGA 実機による基本動作の評価を示した。

(3) 内部ゆらぎを利用した非線形振動子による環状ネットワーク

上記 (1) で示した内部ゆらぎによる確率共鳴を、ネットワークを構築する非線形振動子の出力をゆらぎとして利用することで実現する。そのために、非線形振動子が単一方向に環状結合したネットワークを構築した。このネットワークに共通の閾値下の信号を入力し、出力信号は非線形振動子全体の応答の加算平均から求める。解析結果から、入出力相関値と内部雑音強度の特性から典型的な確率共鳴曲線が得られ、内部雑音を利用することで、外部雑音を利用する従来の確率共鳴と同等な現象が起きることを示した。