

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630172

研究課題名(和文)カオスダイナミクスに支配される粒子群による最適化手法の完全デジタル化

研究課題名(英文) Digitization of the optimization method by the particle swarm governed by chaos dynamics

研究代表者

坪根 正 (Tsubone, Tadasho)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50334694

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)：本申請研究は、群知能による最適化手法をデジタル技術で実現することを目的とした。以前に開発した人工神経回路を基にした確率要素を持たない決定論モデルを用いて、群知能のハードウェア化を念頭に置いた理論構築を目指した。その結果、2つのモデルを構築し、基本ダイナミクスであるニューラルカオス発振器を基にした準カオス発生系のパラメータと性能の関係を定量的に示し、設計指針を与えた。また、プログラマブルな回路上に粒子の動きを離散時間系としてハードウェア実装し、回路の挙動と最適化性能の関係を示すことができ、有効なパラメータの設計指針を確立できた。また、動的問題でも提案手法が有効であることを示すことが出来た。

研究成果の概要(英文)：This study has been intended to realize optimization method by the swarm intelligence in digital system. Using the deterministic model based on artificial neural circuit in previous study, we have aimed at the theory construction of hardware of the swarm intelligence. As a result, we have realized two models and showed a correlation between parameters and performance quantitatively from the neural-chaos oscillator which was basic dynamics, and we have suggested design guidance. In addition, implemented circuits have been given to realize the movement of the particles on a programmable circuit, and we could show the behavior of the circuit and relations of the optimization performance and was able to establish the design guidance of an effective parameter. We have also been able to show that suggestion technique was effective in a dynamic problem.

研究分野：工学

キーワード：粒子群最適化 非線形理論 非線形回路 カオス

1. 研究開始当初の背景

鳥などの生体の群れは、個体同士で情報交換し群れで機能的な動きをしている。これに倣った群知能を利用した最適化手法の有用性が指摘されており、研究開始の当時から特化した国際会議も開かれる現在でもホットな分野である。一方でヒトの脳などの生体の高度な情報処理にはスパイク列が用いられており、それを発生する神経細胞のスパイクニューロンモデルで生体の信号処理を解明し、応用する研究も研究開始当初に脚光を浴びたAI研究などとも関連して今なお盛んである。申請者は科研費(挑戦的萌芽,H23-25)で群知能による最適化手法をスパイクニューロンでモデル化し、従来は必須と考えられていた確率要素を排除しても従来よりも高性能な手法を実現した。本申請研究ではこの成果を基に、デジタルなスパイクニューロンによってハードウェア化することを目指した。これは、現実の最適化問題をリアルタイムで解決することを目的とした、新しい着想であった。

2. 研究の目的

本申請研究は、群知能を近似無しにデジタル技術で実現することを目的とした。魚や鳥の群れの動きから創発された群知能による最適化手法の実現のためには、群れを構成する個体の多様な振る舞いの実現がカギとなる。粒子群最適化法では、アナログな位置情報がランダムに揺れることで多様性を生み出しており、性能向上のために確率要素の存在が重要であった。申請者は、過去の科研費の成果として人工神経回路のスパイクニューロンをもとにした確率要素を持たない決定論ダイナミクスモデルを開発し、従来よりも高性能な手法を実現した。そこで本申請では、アナログ値を近似して量子化するのでは無いデジタル化した群知能を実現し専用ハードウェアを作ることを目的とした。そしてアナログ要素と確率要素を無く

しても実用的に十分な性能を有することを明らかにし、専用機での高速処理を利用して実問題で頻発する時変な最適化問題をリアルタイムへの適応も目的とした。

3. 研究の方法

まずは、先行研究で実現しているスパイクニューロンのダイナミクスに基づいた最適化手法をデジタル化し、モデルを確立するFPGAでの実装を念頭に置き、非同期型の離散時間システムでの実現を行う。粒子は探索空間の中で群れが共有している探索の中心付近を複雑な挙動で動きながら探索する。この動きは先行研究で開発したニューラルカオス発振器を基にした離散型の準カオス回路を利用する。その、粒子に相当する回路の結合ネットワークとして群れのモデルが記述されるが、その動作を確認して理論を実証するためのシミュレーションを行う。モデル構築とその評価には非線形力学系理論における見地が必要になるが、非線形力学系の呈するカオス解析、カオスシステムの合成、安定性評価、分岐解析などの見地を最大限に利用して効果的に研究を進める。次に、システムの回路実装を行う。デジタルスパイクニューロンのネットワークをプログラマブルなボードに実装する。動作を確認して理論を実証するための測定環境を整えるために、多チャンネル同時計測器を利用する。この同時測定環境の構築によって、回路ネットワークとして実現された大規模な群れの基本データが取得でき、ハードウェア開発に向けた基礎作りが完了する。これらの回路実験は長岡技術科学大学に設置されているシールドルームで行われる。ここでの測定器は、以前の科学研究費補助費(H22-H24 若手 A)によって配備されたものである。回路の性能については、呈するスパイクによってある程度の評価が可能である。スパイク信号の取得はデータローガーによって行うこと

が出来る. この実現したデジタルスパイクニューロンのダイナミクスに従う粒子群を利用した最適化手法は, 確率要素に性能が左右されないのロバストであり完全デジタル化により高速である. つまり, 実問題でのリアルタイム処理に有効といえ, 応用例の1つを明確にする. 実問題では最適な特性は時々刻々と変化する環境に伴って変化するので, リアルタイムに最適パラメータの再設計が行えることが望まれるので, 開発した専用ハードウェアを利用する.

4. 研究成果

先行研究で実現している, スパイクニューロンのダイナミクスに基づいた最適化手法をデジタル化した. FPGAでの実装を念頭に置き, 非同期型の離散時間システムでモデル化を行った. 本手法は先行研究で開発したニューラルカオス発振器を基にした離散型の準カオス回路を基にしており, 粒子に相当する回路の結合ネットワークとして群れのモデルが記述された. 結果として2つのモデルを構築し数値的に実現することに成功した. 一方は区分線形な離散時間モデルであり, 良く知られている粒子群最適化手法よりも優れた探索性能を有することを理論的に示すことに成功した. もう一方は区分定数な離散時間モデルであり, 空間も離散化しても高い探索性能を維持できることを数値的に実証できた.

両方のモデルについて, 粒子に相当する回路の結合ネットワークとして群れを記述するための基本ダイナミクスであるニューラルカオス発振器を基にした離散型の準カオス発生系を詳細に検討し, そのパラメータと性能の関係を定量的に示し設計指針を与えることに成功した. 具体的には, 状態変数の時間的変化について自己相関関数を利用した評価量で表現し, その自己相関がある特徴的な場合に最適

化の性能が高いことを統計的に示すことに成功した. 過去の研究でニューラルネットワークの性能を自己相関関数で評価する試みはあったが, 本成果はそれを理論的に出来ることを示唆しており, 広い範囲で有効となる成果である. 2つめの成果としては, 粒子の動きを実現する低次元の回路モデルを構築し, リアルタイムな適用により動的問題でも提案手法が有効であることを示すことが出来た. これらの成果により, 簡素なハードウェアは問題なく実装出来るとの指針が出来た. そこで, プログラマブルな回路であるFPAA上に粒子の動きを実現区分線形な離散時間モデルのハードウェアを実装することを試みて達成することが出来た. 理論的な解析により, 回路の挙動と最適化性能の関係を示すことができ, 有効なパラメータの設計指針を確立できた. また, ハードウェア化によってリアルタイムな適用を行うことができ, 動的問題でも提案手法が有効であることを示すことが出来た.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Yoshikazu Yamanaka and Tadashi Tsubone, "Analysis of an optimizer based on piecewise-rotational chaotic system," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE Vol. E7-N, No. 4*, pp. 557-575, 2016 年10月1日
- ② Kazuyuki Kimura, Shotaro Suzuki, Tadashi Tsubone and Toshimichi Saito, "The cylinder manifold piecewise linear system: Analysis and implementation," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE Vol. 6 (2015) No. 4* pp. 488-498, 2015年10月1日
- ③ Yoshikazu Yamanaka and Tadashi Tsubone, "An optimizer using swarm of chaotic dynamical particles," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 6 (2015) No. 1* pp. 112-130, 2015 年1月1日

日

[学会発表] (計 7 件)

- ① Yoshikazu Yamanaka and Tadashi Tsubone, "Tracking optima in dynamical problems by a chaotic population based optimizer," Proc. of 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA), pp. 550-553, Yugawara, Japan, 2016年11月29 日,
- ② 疋田葉留, 山仲芳和, 坪根正, "離散時間区分回転系の呈するカオスの分岐と回路実装," 電子情報通信学会非線形問題研究会, NLP2016-58, 兵庫, 2016年9月15日
- ③ Yoshikazu Yamanaka and Tadashi Tsubone, "Synthesis and Analysis of Piecewise Rotational Chaos System for an Optimizer," Proc. of 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2015), pp.732-735, Hong Kong, China, 2015年12月3日
- ④ Yuya Kurita and Tadashi Tsubone, "Population-based Optimization having deterministic and discrete dynamics," proc. of 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), pp. 2653-2656, 2015年5月27日
- ⑤ Yoshikazu Yamanaka and Tadashi Tsubone, "A basic consideration of an optimizer based on piecewise rotational chaos system," proc. of 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), pp. 2664-2671, 2015年5月27日,
- ⑥ Yoshikazu Yamanaka and Tadashi Tsubone, "A Basic Study on Symmetrical Chaotic Dynamics for Population-based Optimization," Proc. of 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2014), pp. 152-155, Luzern, Switzerland, 2014年9月15日,
- ⑦ Yuya Kurita and Tadashi Tsubone, "A Basic Study of Integer Particle Swarm Optimization having Deterministic Dynamics," Proc. of 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2014), pp. 595-598, San Diego, CA, USA, 2014年10月7日,

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坪根 正 (TSUBONE Tadashi)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50334694

(2) 研究分担者