

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656252

研究課題名(和文)スパイクングニューロンによる群知能の実現と新展開

研究課題名(英文)Realization of swarm intelligence by spiking neurons, and its new development

研究代表者

坪根 正 (Tadashi, Tsubone)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：50334694

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、群知能によって様々な問題の最適化を行うための非線形手法を開発し、スパイクングニューロンによるハードウェア化を目指し、工学的応用へ向けた考察を行うことを目的とした。そこで、決定論的力学系に支配される粒子による群知能最適化手法をスパイクングニューロンで実現し、群知能による最適化手法をモデル化した。本システムは非同期型の離散時間ニューロンモデルを基礎とし、カオスダイナミクスを利用した探索動作により、従来よりも簡素な系で高性能な最適化手法の実現に成功した。さらにFPGA等での実装を容易にするための整数型の決定論的粒子群最適化手法を実現し、高速に動作させられることを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed nonlinear procedure to optimize various problems by swarm intelligence, and the hardware realization by spiking neurons and the application for the engineering are considered. Therefore we realized the swarm intelligence optimization technique with a particle influenced by deterministic dynamics system with spiking neurons. The system is based on a neuronal model of the discrete time and asynchronous system, and by applying the searching mechanism that used chaos dynamics, we succeeded in realization of high-performance optimization technique in the system. Furthermore, we realized deterministic particle swarm optimization procedure of the integer type to facilitate implementation in FPGA and showed what it operates fast.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：最適化 群知能 非線形力学系 スパイクングニューロン

1. 研究開始当初の背景

魚や鳥などの生体の群れは、個体同士でコミュニケーションをとりながら群れとして機能的な動きをしていると言われている。この性質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、群知能に特化した国際会議も開かれホットな分野である。一方でヒトの脳の情報処理をはじめ、生体の高度な情報処理にはスパイク列が用いられている。このスパイク列を発生する神経細胞（ニューロン）をモデル化したものがスパイクニューロンモデルであり、生体の信号処理を解明するための研究のみならず、その応用研究も盛んである。申請者は以前の科研費（挑戦的萌芽、H20-22）で、高次元のスパイクニューロンを開発し、従来では対処不可能であった複雑な情報処理に取り組んでいた。本申請研究ではこの成果を基に、群知能による最適化手法をスパイクニューロンによってハードウェア化し、工学的応用へ向けたブレイクスルーを実現する、全く新しい着想である。

2. 研究の目的

粒子群最適化手法をスパイクニューロンで実現するためのモデリングを確立し、ハードウェアでの実現と工学への応用の可能性を示すことを目的とした。魚や鳥などの生体の群れに倣った群知能を利用した最適化手法がよく知られているものに、粒子群最適化があるが、この最適化手法は、遺伝的アルゴリズム等よりも高い性能を示す研究結果が数多く報告されている。しかし、そのハードウェア化に関する研究報告は皆無であり、ソフトウェアでの研究が殆どである。その理由として、システムが高次元であることが上げられる。群れを形成する個体（粒子）は通常数十個数百個であり、それが一般的に高次となる探索空間を動くことになり、極めて高次元のシステムである。また、粒子と粒子のインタラクションの実現も問題となる。多数の粒子間での様なリンクを作り、情報をやり取りする機構をモデル化するかも大きな検討事項である。本申請では、上記の問題に対して高次元

スパイクニューロンを利用することで対応し、群知能による最適化手法を実現しようとするアイデアであった。高次元スパイクニューロンに関する研究については、本申請者が世界で初めてハイパカオスと呼ばれる4次元以上の自律システムでしか発生しない高次元現象の理論的解明と発生回路の合成に成功しており、この見地の基に研究を遂行する。また、スパイクを用いた情報処理については、これまでの科研費を受けた研究で多くの見地を有しており、可能性を秘めた発展的挑戦であった。

3. 研究の方法

先行研究で実現していた、高次元スパイクニューラルネットワークを基にして、群知能による最適化手法をモデル化する。FPGAでの実装を念頭に置き、非同期型の離散時間ニューロンモデルでの実現を行う。これにより、従来よりも簡素なモデリングが実現出来る。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実装するためには、クラスター計算機を利用して高速に高精度な検証を効率的に行う。性能とシステムコストの検証も行う。モデル構築および、そのシミュレーションと評価には、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、分岐解析等の見地に基づいて効果的に研究を進める。さらにシステムの回路実装を念頭においた最適化手法を構築する。高次元ダイナミクスの実装には、プログラマブルなボードやマイコンを利用する。ニューロンのダイナミクスは申請者が以前に提案した高次元モデルの区分定数化システムを利用し、非同期型とすることで多様性を持たすことが出来る。また、プログラマブルなボードによるデジタル回路ベースの実装により、デジタルスパイクの生成も容易である。提案する群知能のダイナミクスが大域的に安定であるために、スパイク密度や個体の解軌跡を制御する必要があるが、これは申請者が以前に提案した遅延情報を利用した手法

が適用可能である。連続時間系では遅延情報を利用した本制御手法を適用することは難しいが、本システムはスパイク間隔の時間情報を直接利用できるために大きな効力を発揮する。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 (H19-H21 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可能である。また、実装したモデルによる分岐解析手法の提案を行う。従来のシステム設計では最適パラメータの決定に重点が置かれているが、本手法では更に大域的な分岐集合の導出が可能な手法を提案する。

4. 研究成果

まず、先行研究で実現している高次元スパイクニューラルネットワークを基にして、群知能による最適化手法をモデル化に成功した。本システムは非同期型の離散時間ニューロンモデルを基礎としおり、カオスダイナミクスを利用した探索動作の実現により、従来よりも簡素なモデルで高性能な最適化手法の実現への可能性を示すことに成功した。基本ダイナミクスの確認のために回路実験でのデータ収集をミックストシグナルオシロスコープ(当研究経費によって購入)によって行い、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、分岐解析等に使われる技術を利用して有効性を裏付ける解析結果を得ることが出来た。また、最適化のために必要なスパイク信号の時間による変調方式を実現するためのスパイク間隔密度スペクトルを制御する新しい手法の開発に成功し、実装回路に検証実験やクラスター計算機を利用した大規模計算によってその有効性を示すことに成功した。次に、モデル化を行った群知能による最適化手法の評価を詳細に進めて、その見地からハードウェア化に適したシステ

ム設計の着想に至った。本システムは非同期型の離散時間ニューロンモデルで粒子の動きを制御しており、カオスダイナミクスを利用した探索動作の実現により確率要素を利用しなくても従来の粒子群による最適化手法と同等以上の性能を発揮できることを示すことに成功している。本研究費に購入した数値計算専用機を利用した並列計算によって詳細な性能評価および安定性の解析を進めて定量的にその有効性や安定性を示すこと成功した。ハードウェア化に向けては、用いているダイナミクスの基本的性質を明らかにすることが出来たので、その見地のもとに探索性能とパラメータの関係を明らかに出来た。この結果は、離散状態型の群知能モデルの構築が可能であることを示すものである。この離散状態離散時間非同期モデルの群知能はFPGAなどで実装可能であるので、大きな成果と言える。最後に、ハードウェア化に適した簡素化された最適化手法を構築した。本システムはここまで開発した非同期型の離散時間ニューロンモデルで粒子の動きを制御する機構を本質的に簡略化したものである。カオスダイナミクスを利用した探索動作の実現で確率要素を利用しなくても従来の粒子群による最適化手法と同等以上の性能を発揮できることを示すことに成功した。さらにFPGA等でのシステムマティクな実装を容易にするための整数型の決定論的粒子群最適化手法を提案するに至った。この手法は、離散粒子群最適化よりも高速に動作させることを示した。また、確率要素を利用した従来手法を離散化した手法よりも大域探索において高い性能を示すことが明らかになった。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 6 件)

- ① Yoshikazu Yamanaka and Tadashi Tsubone,
“An idea of Novel Optimizer using
Swarm of Chaotic Dynamical
Particles,” Proc. of 2013
International Symposium on Nonlinear
Theory and its Applications
(NOLTA2011), pp. 240-243, 査読有, 2013
年9月10日.
- ② 栗田裕弥, 山仲芳和, 坪根正, “区分定
数発振器に基づいた離散粒子群最適化手
法,” 電子情報通信学会非線形問題研究
会, 信学技報NLP2013-26, 査読無, 2013
年7月8日.
- ③ Yoshikazu Yamanaka and Tadashi
Tsubone, “A Basic Concept of Particle
Swarm Optimization based on Chaos
Spike Oscillator,” Proc. of the 2012
IEEE Workshop on Nonlinear Circuit
Networks , pp. 20-23, 査読有, 2012 年
12月14日.
- ④ Yoshikazu Yamanaka and Tadashi Tsubone,
“A Basic Study on Particle Swarm
Optimization Based on Chaotic Spike
Oscillator Dynamics,” Proc. of
International Conference on Neural
Information Processing 2012, partIII,
LNCS7665, pp. 199-207, 査読有, 2012
年11月14日.
- ⑤ Kawai Yuki and Tadashi Tsubone,
“Stability Transformation Method for
Unstable Periodic Orbits and Its
Realization,” Proc. of Third
International Workshop on Nonlinear
Maps and their Applications (NOMA), pp.
81-84, 査読有, 2011年9月15日.

- ⑥ Tahahiro Aoki and Tadashi Tsubone,
“Control of Inter-Spike-Interval
Density of Piecewise-Constant Chaotic
Spiking Oscillator with Dead-Time,”
Proc. of 20th European Conference on
Circuit Theory and Design (ECCTD), pp.
253-256, 査読有, 2011年8月29日.

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坪根 正 (TSUBONE Tadashi)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号: 50334694