

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号： 13102
 研究種目： 若手研究（A）
 研究期間： 2010 年度 ～ 2012 年度
 課題番号： 22686038
 研究課題名（和文） 高次元人工神経回路による生体信号同定学習のためのカオティックダイナミクス整合
 研究課題名（英文） Chaotic dynamics matching for learning to identify biological signals by higher order artificial neural circuit
 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

研究成果の概要（和文）：

本研究課題は、カオス理論に基づき「制御系のダイナミクスを制約条件やタスクに応じて高速・柔軟に適応させる手法」であるカオティックダイナミクス整合を利用して、生体信号を利用しつつ生体に習った制御・学習システムの実現へ発展させることを目的とした。これに対して以下の成果を得た。生体信号を想定した連続時間信号に対する安定なカオティックダイナミクス整合手法を提案した。高次元スパイクニューロンを基にした同定学習システムの系統的な設計手法を示しその有用性を示した。

研究成果の概要（英文）：

Chaotic dynamics matching which can be applied for a dynamics of the control systems with high-speed and flexibly according to the condition and the task based on the chaos theory is proposed. It achieves the control and learning system based on biological signals. The following results were achieved. Stable method of chaotic dynamics matching which is effective to continuous-time signal as biological signals was shown. Systematic design procedure of learning to identify signals based on higher order spike neuron was shown and the effectiveness was clarified.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
22 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
23 年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
24 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	10,700,000	3,210,000	13,910,000

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：ニューロン，同定学習，カオス

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

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、生体と機器を繋ぐインターフェイスへの応用研究も盛んである。

従来は1次元のモデルが殆どであるが、高度な生体の現象を説明するために2次元のモデルもいくらか研究されている。しかし解析的に扱うことが困難であり、zhikevic 教授らの研究以外にはあまり見当たらず、東大の岡田教授ら¹⁾や法政大の斎藤教授らの先駆的な研究がある程度であった。

申請者は科研費（挑戦的萌芽, H20-22）で、さらに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生体の複雑な情報処理に取り組んでいた。高次元システムを解析的に取り扱うことは極めて困難であるが、申請者は、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、それらの見地のもと成果をあげていた。高次元スパイクニューロンを利用した同定学習システムの実現により、生体に習った情報処理や生体と機器を繋ぐインターフェイスの発展へ多大な貢献が期待出来る。このような試みは国内外通して見当たらず、応募者のオリジナルであった。

2. 研究の目的

1) 経緯：申請者は、ロボットが自律的に環境・行動を獲得するシステムの研究を行った。（H19-21, 科研費若手 A）。一方で（H18-19, 科研費基盤 A）生体信号を利用した学習シス

テムの研究を行った。将来的には、脳波等の生体信号を利用し、かつ生体に習った制御・学習システムの実現へ貢献する。その為には、現状よりも高機能な生体と機械をつなぐインターフェイスが必要であり、従来技術を凌駕する萌芽的着想が必須であった。本申請はその着想をより高いフェーズへ新展開するものである。

2) 何をどこまで明らかにするか：生体信号を近似する高次元スパイクニューロンモデル基にしてカオティックダイナミクス整合を導入した同定学習を実現し、制御システムとして利用するための設計手法およびパラメータ範囲等を明らかにする。それらを基に、生体信号を入力と想定した学習機構の開発を行い、ニューロダイナミクスの同定システムを実現する。

構築した学習・制御機構の実証を行う。生体信号を全て模倣することは困難であることが予想されるが、ハードウェアへの実装を行い、同定学習の検証を繰り返し行い、本研究による理論の実証および適応範囲を明らかにする。

3. 研究の方法

申請者は先行研究において、高次元スパイクニューロンの合成や解析に関する成果をあげている。また、カオティックダイナミクス整合を利用した学習・制御システムも実現している。この見地を基にまず、スパイクニューロンのための学習システムの構築を行う。次に、ハードウェアで実現する回路システムを用いて生体信号の同定学習および、生体信号利用の学習・制御システムの実現を行う。

先行研究で実現している、高次元スパイクニューロンを基にした同定学習システムへ、カオティックダイナミクス整合のアル

ゴリズムを導入する。高次元スパイクングニューロンがカオスを発生するパラメータ領域の解析を行い、入力される生体信号を同定するための同定学習ダイナミクスを柔軟かつ高速に適応させる。このパラメータ領域の推定および、同定学習の有用性を実証するためのシミュレーションを行うためには、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。回路実装および学習・制御系への適用のための簡略化モデルの検討も行い、性能とシステムコストの検証も行う。同定学習には機械学習を利用するが、その報酬信号のための生体信号を想定して、その教師データと同等の性質を持つスパイク信号を出力できるように回路のパラメータを更新する為の、アルゴリズムを確立させる。ここでも機械学習を利用する。

次にシステムの実現を行う。まず、既に先行研究で実現している高次元スパイクングニューロン回路を用いて、学習・制御システムを構築する。強化学習アルゴリズムの実装は、プログラマブルな DSP ボードおよびマイコンを利用する。これらの回路(アナログ集積化された高次元スパイクングニューロンとデジタル回路による同定学習専用回路)を合成して、不安定制御システムへの適用も行う。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。

また、これらの学習と平行して生体信号の有用な前処理の検討や解析を行う。生体信号は高次であるため、並列処理が可能な大規模計算機を利用する。これらの成果を利用して、生体と制御システムを繋ぐインターフェイスとしての性能の評価や解析を行う。過去に誰も取り扱おうとしなかった高次元スパイクングニューロンに基づく新しい同定学習システムなので、評価及び解析は、非線形力学系理論と脳神経学の両観点から慎重かつ丁寧に行う。

4. 研究成果

1) 連続時間信号に対する安定なカオティックダイナミクス整合手法：異なるダイナミクスを持つ系に対して、同じ制御測と制御パラメータを持つコントローラ（動的カオス制御器）に対して、よりロバストな安定化制御が可能な技術を開発した。その手法を汎用なプログラマブルボードによって実装し、回路実験からスパイクングニューロンのための学習制御の有効性を示すことに成功した。安定性解析のための理論構築を進めて、複雑な信号に対しても安定してロバストな制御ゲインを設計するための系統的な手法を実現することが出来た

2) 高次元スパイクングニューロンを基にした同定学習システムの系統的な設計手法：高次元スパイクングニューロンを基にした同定学習システムの実現のために、カオティックダイナミクス整合のアルゴリズムを導入したシステム構成を行い、その有効性を示した。具体的には ISS 法と呼ばれる手法を導入することで、高次元連続時間システムでも未知のスパイクパターンを同定制御出来ることが示された。この手法はハードウェアでも実現され、実システムでの有効性も示された。

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 2 件)

- ① Kawai Yuki, Tadashi Tsubone, Chaos control based on stability transformation method for unstable periodic orbits, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 3, 査読有, (2012) No. 2 pp. 246-256.
- ② 長谷川 拓海, 坪根 正, 安定性変換に基

づく未知定常状態の安定化, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, (2013), Vol. J96-A, No. 9, pp. (未定) .

[学会発表] (計 10 件)

- ① Keisuke Suzuk, Tadashi Tsubone, Synchronization Phenomena of Piecewise Constant Oscillators Coupled by Hysteresis Element, Proc. of IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems 2012, 査読有, pp. 635-638, 2012 年12 月5 日
- ② Takumi Hasegawa, Tadashi Tsubone, Stabilizing Unstable Periodic Orbits in Higher Dimensional Systems based on Stability Transformation Method, Proc. of IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems 2012, 査読有, pp. 208-211, 2012年12 月4 日
- ③ Takahiro Aoki, Tadashi Tsubone, Bifurcation of Chaos and Density Spectrum of Inter-Spike-Intervals from Piecewise-Constant Spike Oscillator, Proc. of 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2011), 査読有, pp. 840-843, Mallorca, Spain, 2012 年10 月26 日
- ④ Tadashi Tsubone, Takumi Hasegawa, Stabilizing Unknown Steady States of Piecewise Linear Systems by Occasional Proportional Feedback Based on Stability Transformation Method, Proc. of the 2011 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks, 査読有, pp. 92-95, Tokushima, 2011 年12 月10 日
- ⑤ Kawai Yuki, Tadashi Tsubone, Stability Transformation Method for Unstable Periodic Orbits and Its Realization, Proc. of Third International Workshop on Nonlinear Maps and their Applications (NOMA), 査読有, pp. 81-84, Evora, Portugal, 2011 年9 月15 日
- ⑥ Daichi Manabe, Tadashi Tsubone, Analysis of a Controlled Piecewise-Constant Circuit with Time-Delay Feedback, Proc. of 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2011), 査読有, pp. 674-677, Kobe, Japan, 2011 年9 月7 日,
- ⑦ Takumi Hasegawa, Tadashi Tsubone, Bifurcation Analysis of a Chaotic Map with a Dynamic Controller Based on Stability Transformation Method, Proc. of 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2011), 査読有, pp. 382-385, Kobe, Japan, 2011 年9 月6 日
- ⑧ Tahahiro Aoki, 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), 査読有, pp. 253-256, Linköping, Sweden, 2011 年8 月29 日
- ⑨ Tadashi Tsubone, Stability Transformation of a Piecewise Linear Circuit with Time-Varying Parameters, Proc. of the 2010 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks, 査読有, pp. 40-43, Tokushima, 2010 年12 月3 日
- ⑩ Tadashi Tsubone, Synthesis of a spiking oscillator with a desired inter-spike interval density, Proc. of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications,

査読有, pp. 234-237, Krakow, Poland,
2010 年9 月7 日

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