

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2007～2008
 課題番号： 19700222
 研究課題名（和文）
 デジタルスパイクニューロンとそのパルス結合系の学習法構築へのアプローチ
 研究課題名（英文）
 An approach toward synthesis of digital spiking neurons and their pulse-coupled networks
 研究代表者
 鳥飼 弘幸 (TORIKAI HIROYUKI)
 大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
 研究者番号： 20318603

研究成果の概要：

離散状態を有する人工神経細胞モデル(デジタルスパイクニューロン)を提案してその応答特性や非線形現象を解析した。また、未知のパラメータを有する神経細胞モデルの動作を自動的に近似・模倣する為のデジタルスパイクニューロンに対する学習法を提案し、同学習法をハードウェアに実装してその動作を確認した。また、それらの離散状態モデルに関する知見を参考にして、連続状態を有する新しい人工神経細胞モデル提案して、そのパルス符号化特性やアナログ/デジタル変換特性等を解析した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	270,000	2,970,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

スパイクニューロンモデルとそのパルス結合系は多彩な現象を呈し、それらの現象を巧みに利用した応用も精力的に検討されていた。これに対して申請者は「アナログスパイクニューロンモデルの動作にヒントを得た新しい離散状態力学系」としてデジタルスパイクニューロン(DSN)を提案し、学術論文等で公表していた。DSNは様々な興味ある系と

関連するが、その代表例と DSN の位置づけを以下で説明する。

ニューラルネットワーク DSNの動作は、簡略化されたスパイクニューロンモデルの一つである、周期信号が印加された積分発火モデルの動作にヒントを得たものである。これまでに様々なスパイクニューロンモデルとそれらのパルス結合系が提案され、それらの系

が呈する多彩な現象は多くの研究者を魅了してきた。またパルス結合系の現象を巧みに利用した工学的応用(例えば同期クラスタの発生に基づいた動的な連想メモリや画像処理)や、パルス結合系による生物の情報処理メカニズムのモデル化等も精力的に研究されてきた。

離散状態力学系 DSNは離散状態と離散時間を有する離散状態力学系であり、その意味でセルオートマトン(CA)やシフトレジスタを用いた乱数発生器の仲間であると見なせる。離散状態力学系は基礎と応用の両面から面白い研究対象である。例えばCAは非常に多彩な時空間現象を呈し、物理現象の解析ツールのみならず、信号・情報処理への応用も盛んに研究されていた。また離散状態力学系の利点としてFPGA等のリコンフィギュラブルハードウェアによる容易な実装や動的なパラメータ値の更新等が挙げられる。これは離散状態に基づく学習則を実装する上での大きな利点となる。

通信・計測系 近年、超広帯域(UWB)インパルス通信と呼ばれるスパイク列に基づいた通信方式が注目を集めている。UWB通信の利点として、ノイズへの耐性が強い、現存の通信機器へ影響を与えにくい等が挙げられている。またUWB通信系は、実装回路の省電力化が望める点や、UWB信号が位置測定に適している等の点から、UWB信号に基づいたセンサーネットワークも注目を集めていた。UWB技術の基礎として、様々な特性のスパイク列を発生させることは重要な問題であった。DSNはパラメータ値に応じて様々な特性のスパイク列を発生できるので、UWB技術の発展への貢献が期待できた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、DSNを通して上述の様な系を融合させ、融合系の応用の基礎を固めることにある。応用例としては「DSNのパルス結合系に対するFPGAに適した学習則の開発」「DSNのパルス結合系のUWBセンサーネットワークへの応用」「生物の神経回路網の動作を模擬するDSNのパルス結合系と、そのBrain-Machine Interface(BMI)への応用(例えばシステム同定器として)」等を想定していた。

3. 研究の方法

DSNの解析 DSNは複数のシフトレジスタを結線した系であり、その結線パターンがスパイ

ク列の特性を決める重要なパラメータである。本研究ではDSNの結線パターンやDSNを構成するシフトレジスタの数と出力スパイク列の性質との関係を、理論と計算機実験の両面から解析する。また「DSNが発生するスパイク列はどのような種類の符号と対応できるか?」という、いわゆるパルス符号化能力に関する問題も考察する。例えば、スパイク密度に基づく符号化とスパイク間隔のパターンに基づく符号化を比較する。

DSNの学習則の開発 積分発火モデルや共鳴発火モデルのようなアナログスパイクニューロンモデルが呈する分岐現象と、DSNのそれとを比較する。その結果に基づいて、未知パラメータを有するニューロンモデルのダイナミクスを模擬するためのDSNの学習則を開発する。またその結果を発展させて、生物の神経細胞の応答特性を模擬するためのDSNの学習則の基礎を固める。

工学的応用の基礎 UWBセンサーネットワークに適したDSNの学習則を開発する。例えばセンサーネットワークに適したスパイク列集合の相関特性を実現させるための、DSN集合に対する学習則を開発する。

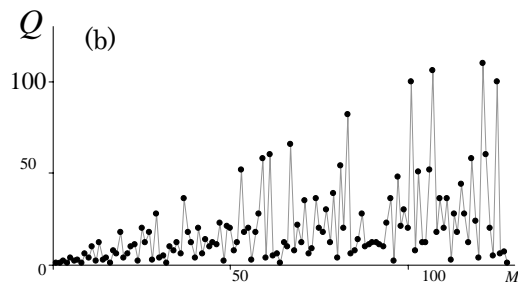
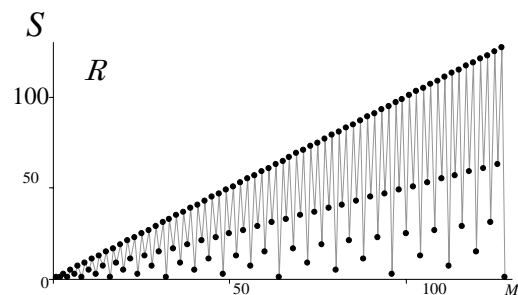


図1: 典型的な結線パターンを有するDSNが発生するスパイク列の基本特性。 M はDSNを構成するシフトレジスタの数。(a)初期値に依存して共存する周期スパイク列の数 S 。(b)共存するスパイク列の集合が共通の周期の中で持つスパイクの数 Q 。

4. 研究成果

(1) DSNの解析

論文①において、典型的な結線パターンを有するDSNが発生する様々なスパイク列の基本的な特性を解析した。例えば図1はDSNを構成するシフトレジスタの数 M に対する、共存図1：典型的な結線パターンを有するDSNが発生するスパイク列の基本特性。 M はDSNを構成するシフトレジスタの数。(a)初期値に依存して共存する周期スパイク列の数 S 。(b)共存するスパイク列の集合が共通の周期の中で持つスパイクの数 Q 。

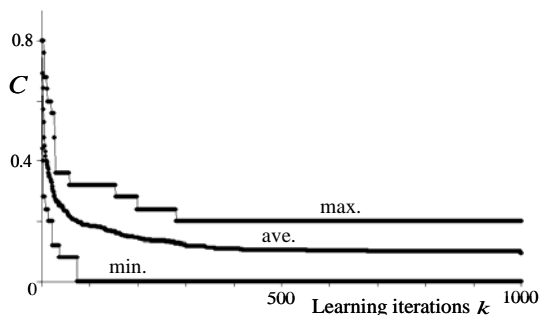


図2：生徒DSNの学習による未知の結線パターンを有する教師DSNの動作の近似。 k は学習回数。 C は教師DSNと生徒DSNのスパイク列の類似度を表すコスト関数。学習が進むにつれて生徒DSNが教師DSNの動作を再現していく様子が分かる。

(2) DSNの学習則の開発

論文②において、DSNの結線パターンの逐次更新を用いた学習則を提案した。同学習則を用いて、「DSNの学習則を用いて、未知のパラメータ値(結線パターン)を持つDSNの動作を再現できるか?」という問題に取り組んだ。図2は学習の様子を示す。同図や他の数値実験結果から、DSNが学習によって未知パラメータを推定できることを示した。また同論文において、「DSNは提案学習則を用いてアナログ微分方程式で記述される神経細胞モデルの動作を近似できるか?」という問題にも取り組んだ。数値実験の結果、図2と同様の結果を得ることが出来た。すなわち、DSNが学習によってアナログ神経細胞モデルの動作を近似できることが示された。これはDSNのBrain-Machine Interface (BMI)への応用(例えば神経細胞の同定器として)の基礎になると考えられる。

(3) 工学的応用の基礎

国際会議論文⑤において、UWBセンサーネットワークに適したDSNの学習則を提案した。図3に数値実験結果を示す。同図と他の数値実験から、DSN集合の学習によって、UWBに適したスパイク列集合を発生出来る事が示された。

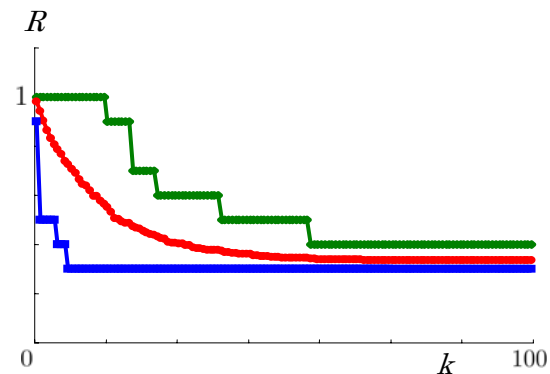


図2：10個のDSN集合の学習によるUWBに適したスパイク系列の発生。 k は学習回数。 R は10個のスパイク列の間の自己相関と相互相関の最大値。3本のグラフは100回の学Rの試行における R の最大値、平均値、最小値を示す。

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 H. Torikai, Basic Spike-train properties of a Digital Spiking Neuron, Journal of American Institute of Mathematical Sciences - Discrete and Continuous Dynamical Systems Series B, 9, 1, pp.183-198 (2008) 査読校閲付き原著論文
- ② H. Torikai, A. Funew and T. Saito, Digital spiking neuron and its learning for approximation of various spike-trains, Neural Networks, 21, 2-3, pp. 140-149 (2008) 査読校閲付き原著論文
- ③ H. Torikai, A. Tanaka and T. Saito, Artificial Spiking Neurons and Analog-to-Digital-to-Analog Conversion, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E91-A No. 6 pp.1455-1462 (2008) 査読校閲付き原著論文

[学会発表] (計5件)

- ① Sho Hashimoto and Hiroyuki Torikai,
A Novel Hybrid Spiking Neuron:
response analysis and learning
potential, Proc. ICONIP (2008) (in
press) 査読校閲付き国際会議論文
- ② Hiroyuki Torikai and Toru Nishigami,
A novel artificial model of spiral
ganglion cell and its spike-based
encoding function, Proc. ICONIP
(2008) (in press) 査読校閲付き国際
会議論文
- ③ Tohru Nishigami and Hiroyuki Torikai,
Basic Analysis of a Leaky Spiking
Oscillator with Two Periodic Inputs,
Proc. NOLTA, pp. 624-627 (2008) 査
読校閲付き国際会議論文
- ④ Hiroyuki Torikai and Sho Hashimoto,
A Hardware-oriented Learning
Algorithm for a Digital Spiking
Neuron, Proc. IEEE-INNS/IJCNN, pp.
2472-2479 (2008) 査読校閲付き国際会
議論文
- ⑤ Akira Hirata and Hiroyuki Torikai,
Learning of Digital Spiking Neurons
for Ultra Wide Band Applications,
Proc. ICCNS, p. 124 (2008) 査読校閲

付き国際会議論文

〔図書〕 (計1件)

- ① Hiroyuki Torikai, Learnin of Digital
Spiking Neurons and its Application
Potentials, in “Applications of
Nonlinear Dynamics” (ed. by V. In, P.
Longhini and A. Palacios),
Springer-Verlag, pp.273-285, 2009.

〔その他〕

ホームページ等

<http://ushiolab.sys.es.osaka-u.ac.jp/index-jp.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鳥飼 弘幸 (TORIKAI HIROYUKI)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：20318603

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし