法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-06-17

多彩な現象を生成できる動的バイナリーニューラルネットの解析と学習

SAITO, Toshimichi / 斉藤, 利通

(雑誌名 / Journal or Publication Title)
科学研究費助成事業 研究成果報告書
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
4
(発行年 / Year)
2015-05

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２７ 年　 ５ 月 １４ 日現在

機関番号：３２６７５
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2012～2014
課題番号：２４５００２８４

研究課題名（和文）多彩な現象を生成できる動的バイナリーニューラルネットの解析と学習

研究課題名（英文）Analysis and learning of dynamic binary neural networks which can generate variable phenomena

研究代表者
斉藤　利通（SAITO, Toshimichi）

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：３０１７８４９６

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　4,000,000円

研究成果の概要（和文）：2層の動的バイナリーニューラルネット(DBNN)に2値周期軌道(BPO)を銘記する学習法を構築した。同手法をパワーエレクトロニクスの基本回路の制御信号に対応する教師信号BPOに適用し、手法の有効性を確認した。また、デジタルリターンマップを用いてDBNNの動作を視覚化する方法も提案し、学習過程の把握に有効であることを明らかにした。
DBNNにBPOが銘記できた場合に、結合行列をスパース化すると、それに落ち込む初期値の数が増え、安定性が強化される場合のあることを示した。いくつかの基本的な例題教師信号によって、そのスパース化の有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：We have constructed a learning method to store one desired binary periodic orbit (BPO) into to the dynamic binary neural networks is presented. Applying the method to teacher signal BPOs that correspond to control signals of basic switching power converters, the efficiency of the method is confirmed. Introducing a digital return map, the dynamics of the DBNN is visualized and analyzed.
In the case where a desired BPO can be stored into a DBNN, we have clarified that stability of the stored BPO can be reinforced (the number of initial points falling into the BPO is increased) by sparsifying connection matrix. In several basic examples of teacher signals, the efficiency of the sparsification is confirmed.

研究分野：情報工学

キーワード：ソフトコンピューティング

１．研究開始当初の背景

(1) バイナリーニューラルネット(BNN)は、シグナム関数を活性化関数とし、N 次元２値入力ベクトルを１次元２値出力に変換する多層ネットワークである。ブール関数の学習を目的とする様々なアルゴリズムが提案されている。滑らかな関数を学習できる多層パーセプトロンよりも表現能力は劣るが、情報通信系等で使われるブール関数の学習や、ハードウエア化に有利である。情報処理システムの基幹である論理/順序回路との関連も念頭に、基礎応用両面から盛んに研究されている。

(2) エレメンタリーセルオートマトン(ECA)は、時間、空間、状態が全て離散的なデジタル力学系であり、極めて簡素な動作ルールに従って、多種多様な時空パターンを生成できる。非線形力学系的見地からの詳細な現象解析も行われている。複雑計算やモデリング、人工スパイキングニューロンの構成とその知的情報処理への応用などの研究も盛んに行われている。応用範囲は広く、自然/社会現象のモデリング、デジタル信号処理、デジタル通信、音声情報圧縮等を対象とした問題も研究されている。

(3) 本研究の対象である動的バイナリーニューラルネット(DBNN)は、BNN と ECA に関連する新しいデジタル力学系である。DBNN は、BNN に遅れフィードバックをかけて構成され、様々な N 次元２値ベクトル周期系列(BPO)を生成できる。ニューロン間結合パラメータは{1, -1, 0}の 3 値をとる。DBNN はそのパラメータに依存して様々な２値系列を生成でき、ECA と同値な系を含む。一部が壊れても出力が可能であり、頑強である。

２．研究の目的

(1) 現象の系統的解析法の構築：DBNN はパラメータに依存して様々な周期解を持つことができ、初期値に依存してそのいずれかを呈する。このような現象を分類するための特徴量を定義し、現象の系統的解析法を構築する。DBNN の動作を格子点上の離散力学系(Gmap)と対応づける方法を用い、典型的な現象を解析し、そのメカニズムを解明する。

(2) 学習法の構築と汎化能力の系統的解析：所望の周期系列を教師信号とする学習アルゴリズムを構築する。遺伝的アルゴリズムを用いた方法を基本として考察をはじめる。典型的な例題に対する学習過程を詳細に解析し、効率の良い学習法を構築する。様々な汎化能力を分類して解析する。

(3) パワーエレクトロニクスへの応用：スイッチング電源回路への応用を試みる。DBNN の周期解は、所望の回路動作を実現させるスイッチ制御信号に対応する。再構成可能制御回路設計の基礎固めも行う。

３．研究の方法

(1) 動作解析：DBNN が生成する現象を系統的に解析するアルゴリズムを構築する。DBNN の入出力である N 次元２値ベクトルは格子点と対応がつくので、DBNN は、格子点から格子点へのマップ(Gmap) と対応がつく。この対応づけが解析の基本である。Gmap はロジスティックマップに代表される１次元マップのデジタル版であり多種多様な周期解を持つことができる。解析のために、現象の特徴量を導入し、パラメータや初期値に対して、DBNN がどのような現象を生成できるかを、詳細に解析する。

(2) 学習アルゴリズム：所望の BPO を教師信号とする DBNN の学習アルゴリズムを構築する。このような学習を完全に行うことは、基本的な周期信号の場合でも、規模が大きくなると実質的に不可能となる(次元の呪い)。進化的計算手法の発見的手法を積極的に利用することにする。結合パラメータ（３値をとる）を GA の遺伝子に対応させ、教師信号との誤差等を評価関数として DBNN を進化させる。 学習過程での DBNN の進化の様子や学習パラメータの効果を解析する。その結果をふまえ、様々なタイプの DBNN に適用できるように学習法を改良していく。結合のスパース化の影響も考察する。

(3) 教師信号の安定化：DBNN に１つの BPO を学習させると、その BPO が自動的に安定化される場合のあることがある（安定化は学習させていない)。この自動安定化や、教師信号以外の周期解の自動的な記憶、等の汎化能力の分類と解析を行う。過程における汎化能力の進化とそのメカニズムを考察する。

(4)エネルギー供給回路への応用：BPO は、パワーエレクトロニクスにおける様々なスイッチング電源の制御信号に対応する。DBNN は、その結合を変化させることにより、様々な BPO を生成できるので、再構成可能な制御回路へ応用できる。典型的なスイッチング電源の制御信号を学習させ、その性能を考察し、応用の基礎固めを行う。

４．研究成果

(1) 現象解析

DBNN の動作を Gmap と対応づけて、その動作を視覚化し、解析する方法を構築した。例えば、図１に示した 3 次元 2 値ベクトルを入出力とする DBNN の動作は、8 つの格子点(C1-C8)の集合からそれ自身のマップの動作に帰着される。この格子点の表現にグレイコードを用いたものが Gmap である。格子点数が有限であるので、DBNN の定常状態は 2 値周期軌道(BPO)である。ある BPO への過渡現象は、その BPO 落ち込む初期値(EPP)が基本である。BPO の安定性は、それに落ち込む EPP の数と、EPP からの軌道によって評価できる。

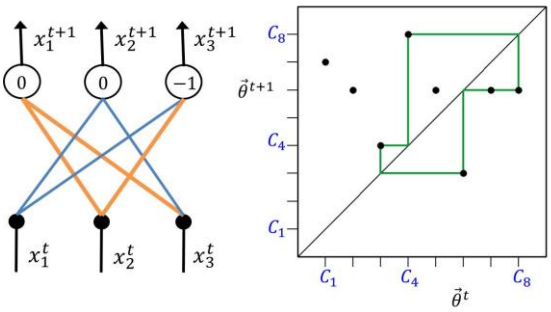

図 1: DBNN(赤は負結合，青は正結合を表す)

Gmap(8 つの格子点集合上の写像)

DBNN(Gmap)の動作は多種多様であり、その特徴量にも様々なものが考えられるが、簡単のため、2 つの特徴量に着目した。1 つ目の特徴量は BPO の数である。これは、記憶性能を特徴づけ、教師信号以外の偽 BPO が生成された場合は大きな値をとる。DBNN に 1 つの BPO を記憶させる場合は、大きな値は好ましくないが、多種多様な BPO を記憶させる場合は、大きな値は好ましい。2 つ目の特徴量は、教師信号 BPO に落ち込む EPP の数である。これは BPO の安定性を特徴づける。1 つの BPO を記憶させる場合は、大きな値が好ましい。
この、Gmap と特徴量を用いて、DBNN の基本動作を解析し、分類を行った。このような解析法は、学習過程の考察にも有効である。
多層パーセプトロンに代表されるアナログニューラルネットの動作については、解析手法についても解析結果についても膨大な研究成果がある。デジタルニューラルネットの研究成果は遠く及ばないのが現状である。本研究で構築した Gmap とその特徴量による解析手法は新しいものであり、ハードウエア化等に有利なデジタル系の研究の発展に貢献するものと思われる。

(2) 学習：教師信号 BPO の銘記
所望の BPO を銘記する学習法を構築した。学習の基本は、ヘブルールに基づく相関学習によって得られた結合パラメータの 3 値化である。相関学習によって銘記できない場合は、GA の突然変異に基づく方法でパラメータを変化させる。学習過程は Gmap と特徴量の変化によって把握する。

(3) 学習：教師信号 BPO の安定化
BPO が銘記できた場合に、それに落ち込む EPP の数を増やして安定性を強化する問題を考察した。いくつかの手法が考えられるが、本研究では、結合行列をスパース化する方法を考察した。スパース化とは結合パラメータの一部をゼロとして結合を除去することであり、それに関わる入力の成分の依存性がなくなり、同じ出力をもたらす入力数が増加することによって安定性が強化されると思われる。証明には至っていないが、いくつかの例題では、スパース化の有効性が示唆された。

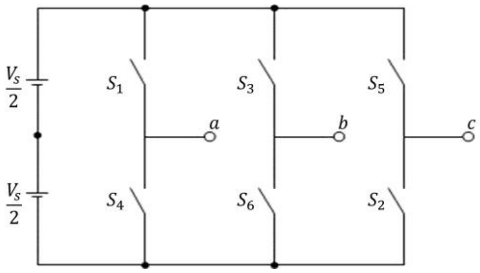

図 2 基本 DC/AC インバータ

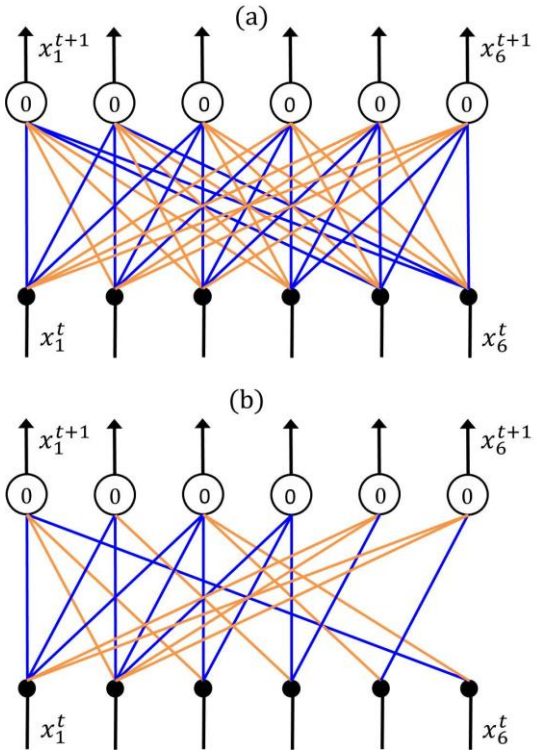

図 3 DBNN (a) 銘記後 (b) スパース化後

(4) スイッチング電源制御回路への応用
図 2 に示した DC/AC インバータは、DC 入力を 6 つのスイッチを適当に動作させて AC 電源に変換する典型的なスイッチング電源回路である。スイッチの on と off を符号+1 と−1 に対応づければ、スイッチ制御信号は BPO で表現できる。構築した学習法によって、この 6 次元 BPO は図 3(a)の DBNN に銘記することができた。そして、図 3(b)のようにスパース化すると、銘記された BPO へ落ち込む EPP の数が増加し、安定性が強化された。
この DC/AC インバータの他にも、AC を DC に変換するレギュレータ、AC を AC に変換するマトリックスコンバータ等、様々なスイッチング電源がある。そのスイッチを制御する信号は全て BPO と対応する。いくつかの例題回路については、学習によって所望の BPO を銘記でき、結合スパース化によって BPO の安定性を強化できることが確認された。DBNN は、1 つのハードウエアの学習によって様々な BPO を生成できるので、斬新な学習機能付き再構成可能制御回路への発展が期待される。

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 15 件）全て査読有

① J. Moriyasu and T. Saito, A cascade system of simple dynamic binary neural networks and its sparsification, LNCS8835, Springer, pp. 211-218, (2014)

② R. Sawayama and T. Saito, Evolutionary learning and stability of mixed-rule cellular automata, LNCS 8835, pp. 271-278, (2014)

③ K. Maruyama and T. Saito, Collision particle swarm optimizers and exploring periodic points, NOLTA, IEICE, E5-N, 4, pp. 523-534 (2014) DOI: 10.1588/nolta.5.523

④ S. Kirikawa and T. Saito, Filter-Induced bifurcation of simple spike-train dynamics, IEICE Trans. Fundamentals, E97-A, 7, pp. 1508-1515 (2014)

⑤ J. Moriyasu and T. Saito, Sparsification and stability of simple dynamic binary neural networks, IEICE Trans. Fundamentals, E97-A, 4, pp. 985-988 (2014)

⑥ H. Yamaoka, N. Horimoto and T. Saito, Basic feature quantities of digital spike maps, LNCS8681, pp. 73-80 (2014)

⑦ J. Moriyasu and T. Saito, A deep dynamic binary neural network and its application to matrix converters, LNCS 8681, pp. 611-618 (2014)

⑧ Y. Yanase, S. Kirikawa and T. Saito, Typical dynamics of bifurcating neurons with double base signal inputs, CCIS 438, pp. 333-340, Springer (2014)

⑨ R. Kouzuki and T. Saito, Learning of simple dynamic binary neural networks, IEICE Trans. Fundamentals, E96-A, 8, pp. 1775-1782 (2013)

⑩ A. Matoba, N. Horimoto and T. Saito, Basic dynamics of the digital logistic map, IEICE Trans. Fundamentals, E96-A, 8, pp. 1808-1811 (2013)

⑪ N. Horimoto and T. Saito, Digital dynamical systems of spike-trains, LNCS 8227, pp. 188-195. (2013)

⑫ Y. Nakayama, R. Kouzuki and T. Saito, Application of the dynamic binary neural network to switching circuits, LNCS 8227, pp. 697-704. (2013)

⑬ N. Horimoto and T. Saito, Analysis of digital spike maps based on bifurcating neurons, NOLTA, IEICE, E95-N, 10, pp. 596-605 (2012) DOI: 10.1588/nolta.3.596

⑭ N. Horimoto, T. Ogawa and T. Saito, Basic analysis of digital spike maps, LNCS 7552, pp. 161-168. (2012)

⑮ S. Kirikawa, T. Ogawa and T. Saito, Bifurcating neurons with filtered base signals, LNCS 7552, pp. 153-160. (2012)

〔学会発表〕（計 10 件）

① 澤山良，斎藤利通，混合ルールセルオートマトンの安定化，電子情報通信学 NC 研究会，2015 年 1 月 29 日，九州工業大学(福岡県・北九州市)

② 山岡慧，斎藤利通，ヒステリシスニューラルネットの振動停止現象と連想メモリ，電子情報通信学会 NC 研究会，2015 年 1 月 29 日，九州工業大学(福岡県・北九州市)

③ 佐藤龍直，森安淳吾，斎藤利通，特徴量平面に基づく動的バイナリーニューラルネットの考察，電子情報通信学会 NC 研究会，2014 年 12 月 13 日，名古屋大学(愛知県・名古屋市)

④ T. Saito, Logistic map versus digital logistic map, NOLTA plenary talk I, Sept. 15, 2014. Luzern (Switzerland)

⑤ K. Maruyama and T. Saito, A Collision PSO for search of periodic points, NDES, Jul. 4, 2014, Albena (Bulgaria)

⑥ T. Ohata and T. Saito, Stability of multi-phase synchronization in parallel dc-dc boost converters with WTA switching, IEEE/IECON, Nov. 13, 2013, Vienna (Austria)

⑦ K. Maruyama and T. Saito, Deterministic particle swarm optimizers with collision for discrete multi-solution problems, IEEE/SMC, Oct. 14, 2013, Manchester (UK)

⑧ N. Horimoto and T. Saito, Analysis of various transient phenomena and co-existing periodic spike-trains in simple digital spike maps, IEEE-INNS/IJCNN, Aug. 7, 2013, Dallas (USA)

⑨ S. Kirikawa and T. Saito, Bifurcation phenomena of simple pulse-coupled spiking neuron models with filtered base signal, IEEE-INNS/IJCNN, Aug. 7, 2013, Dallas (USA)

⑩ R. Sano, K. Jin'no and T. Saito, Particle swarm optimization with switched topology and deterministic parameters, IEEE-SMC, Oct. 15, 2012, ソウル(韓国)

〔その他〕

ホームページ URL

http://www.nonlinear.k.hosei.ac.jp/

６．研究組織

(1) 研究代表者

斉藤 利通 (SAITO, Toshimichi)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：３０１７８４９６