

平成22年5月27日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500198
 研究課題名(和文) 同時摂動を用いた学習機能をもつニューラルネットワークのハードウェア実現
 研究課題名(英文) Hardware Implementation of Neural Networks with Learning Capability Using Simultaneous Perturbation

研究代表者
 前田 裕 (MAEDA YUTAKA)
 関西大学・システム理工学部・教授
 研究者番号：60209393

研究成果の概要(和文)：同時摂動最適化法を用いることにより、学習機能をもつニューラルネットワークのハードウェア化が容易に実現できることについて検証した。ニューラルネットワークのハードウェア実現を想定した場合、パルス密度による数値表現が適していることを示した。また、サポートベクトルマシンを対象に、同時摂動を用いた手法を提案すると共に、ハードウェアシステムを実現した。さらに、同時摂動による学習機能を有する神経振動子をアナログハードウェアシステムとして試作した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we demonstrated feasibility of a learning rule using the simultaneous perturbation optimization method for artificial neural networks. First, we showed that combination of pulse density expression and the simultaneous perturbation method is useful for hardware implementation of neural networks. Second, we fabricated support vector machine with learning mechanism using the simultaneous perturbation method based on FPGA. Finally, a pulse coupled oscillator with learning capability is realized as an analog circuit system using FPAA and the simultaneous perturbation method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

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

ニューラルネットワークは、学習により、そのシステムの機能と特性を柔軟に変化させることができる。したがって、学習機能を

有するニューラルネットワークの設計手法を確立することにより、学習するデジタル回路システムあるいは学習するアナログ回路システムを作ることができる。さらに、近年

進化型ハードウェアが提唱されており、この基礎を成す概念として、学習する、進化するハードウェアシステムの構築は喫緊の課題でもある。

従来、ニューラルネットワークの実現法としては、コンピュータによるシミュレーション法あるいはデジタル信号処理技術を用いたエミュレーションが主流であった。一方、ニューラルネットワークの応用範囲の拡大を考えると、より高速な実現法、応用例とのインターフェイスを考慮したハードウェアによる実現法の開発が望まれている。さらに、学習機能を持つニューラルネットワークをハードウェア化することにより、ハードウェアそのものに学習するという機能を付加することができ、その実用性が増すと考えられる。特に、アナログ回路による実現、FPGAを用いた事例は少なく、興味深い。

従来、学習機能も含めたニューラルネットワークのハードウェア実現は、バックプロパゲーション法を用いるため回路構成が複雑になることから、研究事例が少なく、困難を伴っている。

これに対し、同時摂動を用いたニューラルネットワークの学習則の有用性が期待されている。

2. 研究の目的

同時摂動を用いたニューラルネットワークの学習則は、研究代表者らによって提案された手法で、誤差関数の微分値を、摂動がある場合とない場合の誤差関数の二つの値の差分から直接推定することができる。このため、各荷重の修正量は、共通に計算された、評価関数の差分量を、各荷重での摂動量で除算することにより得られる。したがって、学習回路が共通化でき、荷重修正のための各種回路の簡素化が可能となり、配線の輻輳も防ぐことができる。

学習回路の共通化により、ネットワークの規模が大きくなっても回路構成が複雑にならない。このため、実用的な大規模なニューラルネットワークのハードウェア化において、有用性がある。

さらに、ホップフィールドニューラルネットワークのようなリカレント型のニューラルネットワークの学習はきわめて複雑で、特に、バックプロパゲーション型の学習則では、これをそのままハードウェア化することは不可能である。これに対し、同時摂動型学習則はリカレントニューラルネットワークにも容易に適用でき、ハードウェア化もきわめて簡便に実現することができる。

また、最近ではアナログ電子回路の設計の分野においても、Field Programmable Analog Array (以下、FPAA) を用いた回路実現が可能となってきた。回路素子の使用数に制

限があるため、簡便な学習理論や回路の簡素化は本質的な問題となる。この場合にも、同時摂動学習則を用いることにより、各種のアナログ型のニューロシステムを作成することができる。

本研究では、同時摂動学習則を用いたニューラルネットワークの Field Programmable Gate Array (以下、FPGA) やFPAAなどを用いたハードウェアシステムとしての実現を中心に、学習するハードウェアシステムの実現について、その設計スキームと性能を評価することを目的とした。また、このシステムの具体的な実現についても実施した。

3. 研究の方法

上記目的を達成するために、(1) ハードウェア化に適したニューラルネットワークの数値表現、(2) 学習機能を有するニューラルネットワークのFPGAでの実現および(3) 学習機能を有するニューラルネットワークのFPAAによる実現の事項について検証した。

まず、ニューラルネットワークをハードウェアシステムとして実現する場合の数値表現法について、つぎのような検討を行った。具体的な研究方法は以下の通りである。

- パルス密度によるニューロンの入出力表現のハードウェア化に際しての特徴の評価。
- パルス密度形式を用いたニューラルネットワークシステムの設計とFPGAによる実現。
- 作成した学習機能を有するニューラルネットワークシステムの動作結果の評価と検証。

つぎに、Support Vector Machine (以下、SVM) を対象に、同時摂動最適化法を用いた、学習機能を有するニューラルネットワークのFPGAでの実現を目指して、ハードウェア記述言語 (VHDL) での設計を行った。VHDLを用いて、同時摂動を用いた学習機能を持つニューラルネットワークシステムの基本設計を完成した。さらに、論理合成、配置配線を行い、FPGAへの実装を行い学習機能を有するニューラルネットワークシステムを試作した。さらに、提案するSVMシステム全体の基本設計を確認し、各部の機能レベルでの動作確認を行うと共に、FPGA実装上の問題点の検討と修正を行った。具体的な研究方法は以下の通りである。

- 同時摂動を用いたSVMの学習に関する理論的検討を行った。
- 上記検討結果に基づいて、ハードウェア化に適した同時摂動を用いたSVMの学習則を提案した。
- 提案した学習則に基づいて、SVMシス

テム全体の基本設計を、VHDLを用いて行った。

- 上記の各部のシミュレーションを実行し、修正を行った。
- 設計されたシステム各部のVHDL上での機能レベルでのシミュレーションを行い、その動作を確認すると共に、設計上の問題点の検討を行った。
- 上記の各部の回路の論理合成と配置配線を行った。
- 論理合成プログラムにより、上記設計結果の論理合成を行い、論理合成上の問題点を修正した。さらに、配置配線を行い、FPGAへの実装を行った。
- 各種学習問題のシミュレーションを行い、その結果について検証した。特に、アイリスの分類問題について詳細に検討し、システム全体の動作が正しく行われることを確認した。
- FPGAに実装されているSVMシステム上でも、同様の結果が得られることを確認した。

さらに、アナログ回路であるFPAAでの学習機能を持つ各種ニューラルネットワークシステムの実現のための回路設計や実装を行い、その性能を評価した。具体的な研究方法は以下の通りである。

- リカレント型ニューラルネットワークである神経振動子について、同時摂動を用いた学習法の適用の可能性について、理論的な検討とシミュレーションを行い、検証した。
- パルスニューロンのアナログ回路設計を行い、シミュレーション上での動作検証を行い、安定したパルスの生成について確認した。
- FPAAにパルスニューロンを実装し、各部の動作の検証を行った。同時に、安定したパルスが生成されることを確認した。
- 学習機能を有する神経振動子システムのアナログ設計を行い、シミュレーション上での動作を検証し、設計上の問題点について修正した。
- 設計したアナログ回路システムをFPAAに実装し、どの動作について検討した。パルス周期の学習が行われることを確認した。
- 複数の周期の学習について検討を始めた。

4. 研究成果

従来、困難を伴っていたニューラルネットワークシステムの学習機能のハードウェア化が同時摂動学習則を用いることで容易に実現可能となることが分かった。これにより、

学習するハードウェアシステムの開発に向けて、同時摂動を用いた学習則が有力な手法となることが確認できた。

パルス密度による表現を用いたリカレント型のニューラルネットワークが、学習機能のハードウェア実現において極めて有効であることが分かった。特に、積和の演算が論理積と論理和の演算で実現できるため、同時摂動学習則の特質との相乗効果で回路規模が著しく縮小できた。実際にシステムをFPGA化し、その動作を確認することができた。

SVMの識別超平面の学習に際して、同時摂動最適化法を用いた手法を提案した。同時に、この学習手法も含めたSVMシステムをVHDLで設計し、FPGAを用いたSVMシステムを試作した。アイリス問題を例題に、その動作を確認し、提案手法の有効性について実証できた。

さらに、パルスニューロンのアナログ回路での実現がFPAAを用いることで容易にできることが実証できた。神経振動子の学習に同時摂動法が有効であることを確認すると共に、FPAAを用いることで、学習機能を有する神経振動子をアナログハードウェアシステムとして実現し、その有効性について実証した。

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 村田佳亮, 前田裕, 同時摂動型最適化法を用いたPulse Coupled OscillatorのFPAA実現, システム制御情報学会論文誌, 査読有, Vol. 23, 2010, pp. 16-18
- ② Y. Maeda, Y. Fukuda, Y. Matsuoka, Pulse Density Recurrent Neural Network Systems with Learning Capability Using FPGA, WSEAS Transactions on CIRCUITS AND SYSTEMS, 査読有, Vol. 7, 2008, pp. 321-330

[学会発表] (計24件)

- ① 久川恭平, 前田裕, 視覚フィードバックハンドアイロボットシステム, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2009年12月24日, 芝浦工業大学
- ② 津田真吾, 前田裕, 同時摂動法によるハードウェア向けSVMアルゴリズムの提案, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, 2009年11月25日, 東京工業大学
- ③ 山田貴博, 前田裕, 同時摂動を用いたPSOのFPGAによる実現, 平成21年電気関係学会関西支部連合大会, 2009年11月8

- 日, 大阪大学
- ④ 前田裕, 山本謙斗, Central Pattern Generatorの学習と応用, 第19回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2009年9月18日, 会津大学
- ⑤ Y. Maeda, T. Hiramatsu, S. Miyoshi, H. Hikawa, Pulse Coupled Oscillator with Learning Capability Using Simultaneous Perturbation and Its FPAA Implementation, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009年8月20日, Fukuoka International Congress Center, Fukuoka, Japan
- ⑥ Y. Maeda, N. Matsushita, S. Miyoshi, H. Hikawa, On Simultaneous Perturbation Particle Swarm Optimization, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2009年5月20日, Nova Conference Centre and Cinema, Trondheim, Norway
- ⑦ 山本謙斗, 前田裕, 同時摂動によるCPGを用いた歩行パターンの生成, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2008年12月5日, 長良川国際会議場
- ⑧ 津田真吾, 前田裕, 同時摂動を用いたSVMシステム, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, 2008年11月26日, 姫路市国際交流センター
- ⑨ 小東勇史, 前田裕, 同時摂動を用いたニューラルネットワークのための入出力関数, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2008年10月24日, 広島県情報プラザ
- ⑩ 山本謙斗, 前田裕, 同時摂動最適化法を用いたCPGによる歩行パターンの学習, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2008年10月23日, 広島県情報プラザ
- ⑪ Y. Maeda, Y. Tachibana, K. Hisakawa, Calibration-Free Hand-Eye System using Visual Control, International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, 2008年9月20日, Nagoya, Japan
- ⑫ Y. Maeda, N. Matsushita, Empirical study of simultaneous perturbation particle swarm optimization, SICE Annual Conference, 2008年8月21日, Chofu, Japan
- ⑬ Y. Maeda, N. Matsushita, Combination of particle swarm optimization and simultaneous perturbation, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2008年6月5日, Hong Kong, China
- ⑭ Y. Maeda, Y. Fukuda, Pulse density Hopfield Neural Network system with learning capability using FPGA, Applied Computing Conference, 2008年5月29日, Istanbul, Turkey
- ⑮ 立花裕也, 久川恭平, 前田裕, 視覚フィードバックロボットシステムによるボールの打ち上げ, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会, 2008年5月16日, 京都情報大学院大学
- ⑯ 前田裕, 松下直人, 同時摂動を用いたPSO, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会, 2008年5月16日, 京都情報大学院大学
- ⑰ 津田真吾, 前田裕, 同時摂動学習則を用いたSVMのハードウェア設計, 平成20年電気学会全国大会, 2008年3月21日, 福岡工業大
- ⑱ 前田裕, 松岡崇, 福田泰詔, 学習機能を有するパルス密度型リカレントニューラルネットワーク, 第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2007年12月20日, 広島国際大学
- ⑲ A. Ishihara, Y. Maeda, Hardware Design of Self-Organization for Clustering, SICE Annual Conference 2007, 2007年9月18日, Kagawa University
- ⑳ K. Onozato, Y. Maeda, Learning of Inverse-dynamics and Inverse-kinematics for Two-link SCARA Robot Using Neural Networks, SICE Annual Conference 2007, 2007年9月18日, Kagawa University
- ㉑ 前田裕, 村田佳亮, 同時摂動を用いたPulse Coupled OscillatorのFPAAによる実現, 平成19年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2007年9月5日, 大阪府立大学
- ㉒ Y. Maeda, N. Matsushita, Simultaneous Perturbation Particle Swarm Optimization Using FPGA, International Joint Conference on Neural Networks, 2007年8月14日, Orlando, USA
- ㉓ Y. Maeda, Y. Fukuda, FPGA Implementation of Pulse Density Hopfield Neural Network, International Joint Conference on Neural Networks, 2007年8月13日, Orlando, USA
- ㉔ 前田裕, 制御技術における同時摂動最適化法とその応用, 日本鉄鋼協会シンポジウム, 2007年6月13日, 名古屋国際会議場

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田裕 (MAEDA YUTAKA)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号: 60209393