

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330292

研究課題名(和文)全結合型人工神経回路網の巨大システム化の技術開発

研究課題名(英文)Development of the large-scale Full Connected Artificial Neural Network

研究代表者

早川 吉弘 (Hayakawa, Yoshihiro)

仙台高等専門学校・情報システム工学科・教授

研究者番号：20250847

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本申請研究「全結合型人工神経回路網の巨大システム化の技術開発」は、大規模全結合型神経回路網の実現に必要な様々な研究対象を人工神経回路を用いたCOP解法へのアプローチによって検討・検証することである。その為に逆関数ゼロ遅延モデルを使ったネットワークの性能とパラメータの関係を調査したこと、さらには、Dynamic-staticネットワークを使った場合については、Dynamicネットワークではモジュラーニューラルネットワークでの構成を考慮し、その様々な調査を行ない、staticネットワークでは、階層型ネットワークでの対応を検討した。

研究成果の概要(英文)：This study is that examination inspects various studies necessary for the realization of large-scale full connected artificial neural network by approach to the combinatorial optimization problem using the artificial neural network as for "the technology development of huge full connected artificial neural network". Hence, we investigated the performance of the network using the inverse function delay-less model. In case of a dynamic-static network, we performed the various investigations in consideration of the constitution in the modular neural network in the Dynamic network, and we discussed about the hierarchical network in the static network.

研究分野：ニューラルネットワーク

キーワード：全結合型 人工神経回路網 IDL DS-NET GPGPU 大規模 高速計算

1. 研究開始当初の背景

多層フィードフォワード型人工神経回路で実データに対する Deep-Learning (深層学習) が可能となり、このタイプの回路網研究の新時代が到来した。これには、計算環境の高性能化やインターネットを利用してビッグデータを容易に入手できる実験環境の進歩が大きく寄与しているという事実は言うまでもないが、それ以上に大規模(多階層)な神経回路網でも学習を可能とする地道な技術開発があって、この応用上のブレークスルーが到来したといえる。

一方で、全結合型人工神経回路網においては、階層型ネットワークのような性能の相転移が見られるほどの規模拡大が進んでいない。そこでこのタイプの回路網におけるブレークスルーを求める為にも、この状況の打破が必要である。

全結合型人工神経回路の応用ターゲットとして有力な候補は、現在の計算機では困難(NP-Hard)とされる組み合わせ最適化問題(COP)へのアプローチであり、フクシマ原発問題に付随するエネルギー問題解決や低炭素社会の実現等の高度なコスト削減計画問題において、人の判断を支援する新しいシステム構築の基盤技術として重要な課題でもある。

このような背景より COP をターゲットして全結合型人工神経回路の大規模化への技術開発が必要である。

2. 研究の目的

アルゴリズムベースの最適化手法の研究は数多く存在するが、人工神経回路の並列分散処理の高速性(問題サイズに強く依存せず、回路時定数の十数倍程度で収束できる)はそれらの追従を許さない。しかしながら、従来型神経回路の基本動作は評価関数(エネルギー関数)を定義した上での最急降下法であるために、準最適解や無意味な解さえも出力されるといった、極小値の問題が解決されずに残されてきた経緯がある。

我々が先に提案した逆関数遅延(ID)ニューロンモデルは、ダイナミクス中に負性抵抗効果を導入することが出来、その結果として状態空間内に制御可能なアクティブ領域(負性抵抗領域)が設定される特徴を持つ。極小値の問題に対して、このアクティブ領域が有効に作用し、制約条件のみを有するある種の COP では、極小値状態を完全消去し、高速に正解探索ができることを 2010 年までに明らかにすることが出来た。更に、2010 年以降、TSP に代表されるコスト項を有する COP に対しては、高次結合シナプス(いわゆるシナプス-シナプス結合)を有するネットワークへと拡張することでその適用範囲を拡大してきた。

一方で全結合型人工神経回路の規模拡大という視点で考えると、これまでの我々の研究では、様々な高機能化技法を導入してきた

為に、専用ハードウェアが準備出来ていない現状では、人工神経回路網をコンピュータ上に仮想的に構築し計算する必要性から、計算時間の問題が再浮上し、大規模化の妨げとなっている。

全結合型神経回路網の応用上のブレークスルーを求める為には、先ずはこの COP における大規模化を妨げる問題の打破から始めることが必要不可欠である。そこで、これまでの研究で得られた回路網の有用な性能は維持しつつ、一部アルゴリズム的な手法の融合、いわゆるハイブリッドな神経回路網の計算手法の開発も含め、巨大システム化に必要な技術開発を本申請研究で進めようとするものである。

本申請研究「全結合型人工神経回路網の巨大システム化の技術開発」は、大規模全結合型神経回路網の実現に必要な様々な研究対象を、アクティブ人工神経回路の COP 解決へのアプローチによって検討・検証することである。

3. 研究の方法

本研究課題で用いる逆関数遅延(ID)ニューロンモデルは、通常のニューロンモデルが膜電位の決定にのみ常微分方程式を使って記述される(連続モデルの場合)ことに対して、膜電位から出力に変換される部分にも常微分方程式が導入されている点が異なり、かつ、ここで2つの時定数をそれぞれ τ_u, τ_x とした時に、 $\tau_u \gg \tau_x$ を要求するため、数値計算の時間刻み Δt に $\tau_x \gg \Delta t$ を要求することから非常に多くの計算ステップを必要としてしまう。

この部分計算コスト軽減が必要であり、これに対しては以下の方法を検討・検証する。

1) $\tau_x=0$ 化実現の検討

本来、負性抵抗効果が生じるのは τ_x の存在が重要な役割を担っているが、この τ_x を極限值であるゼロとして、連立常微分方程式を従来のモデル同様に単体の常微分方程式のみとできれば、計算ステップの低減は達成できる。しかしながら、ID モデルの有用な特性がそれでも保持されるかどうかについては慎重な検討を行う必要があるため、数値実験を中心に検討する。

また、TSP のようなコスト項を含む問題では、従来型の ID モデルで発見されたりミットサイクル状態から情報を読み出す手法により所望の性能実現に繋がる可能性もある。この方法が $\tau_x=0$ の極限值でも実現可能かどうかの検討もおこなう。

2) 逆関数遅延レス(IDL)モデルの検討

ID モデルの負性抵抗効果によるアクティブ領域の形成が、COP の解探索において極小値問題回避に大きな役割を果たす。しかしながら、このアクティブ領域は別の方法で実現されても同等の性能を得られる可能性があ

る。現時点で逆関数遅延レス(IDL)モデルを提案し検討を進めているが 1)同様に計算ステップの低減という目的を達成可能かどうか、及び、IDモデルで実現できた有用な特性が実現できるかについて調査する。

3) TSP を例にコスト項を含むシステムへの Dynamic and Static ネットワーク利用

これまでの研究してきた COP の神経回路網への埋め込みでは、単一のネットワークでの実装を考えてきた。その為に、制約条件の項とコスト項を同じネットワーク内に埋め込む必要性から、高次のシナプス結合の導入を余儀なくされ、結果として膨大なシナプス荷重値との積を計算する必要が生じる事態を招いてきた。ここでのアイデアは制約条件の項を処理する Dynamic ネットワーク(全結合型回路網)とコスト項を処理する Static ネットワークの2つに分離・役割分担による手法であり、ニューロン数の多少の増加は生じるが、必要なシナプス数は非常に少なくすることが出来るため計算コスト低減(巨大システム化)に非常に有効な手段となるものと考えられるため調査する。

4) 並列計算アルゴリズムによるシステム高速演算化の検討

本申請研究の ID ニューロンモデル回路網は、基本的に全結合型で実現されているために単純な並列計算の利用では、規模の拡大とともにプロセッサ間の通信時間が支配的になる。一方で、GPU を利用した高速化では、やはりグローバル結合のためにメモリアクセス時間が支配的となる。従って、我々がターゲットとしているエネルギー関数ベースの情報処理に特化した並列計算手法の開発が不可欠である。

その一つの方向性としては、基本ユニットを配置に応じてモジュール化し、このモジュール間の情報伝達については時間スケールをゆっくりとすることで通信時間律速、もしくは、メモリアクセス時間律速の問題解決を検討することである。つまり、従来は一つの大規模システムとしてエネルギー最小値を探索していたが、これを小さな多数のモジュールに分割し、それぞれは従来通りに高速な時定数で計算、モジュール間は比較してゆっくりとした時定数で情報のやりとりを行うマルチ時間スケール化、またモジュールによるタスク階層化をターゲットとしたシステムの検討を行う。

4. 研究成果

諸事情により研究方法で記載した全ての項目を実施することは出来なかったが、以下のような成果を得ることは出来た。

逆関数遅延レス(IDL)モデルの検討について

逆関数遅延モデルの高速計算バージョンである逆関数遅延レスモデルを扱い、負性抵

抗領域に対応する不安定領域の存在を確認した。

IDL モデルパラメータと COP の出現解の関係を詳細調査して、正解率の高いパラメータ領域の存在を明らかにした[学界発表]。さらに、ID モデルでは負性抵抗領域の範囲が最適解(正解率)に影響することが明らかになっており、かつ、その範囲のコントロールも可能であった。そこで、この負性抵抗領域に対応する IDL の不安定領域の範囲もモデルパラメータで制御可能であることを詳細調査委により明らかにした[学会発表]。

TSP を例にコスト項を含むシステムへの Dynamic and Static ネットワーク利用

全結合型の回路網単体では競合する制約条件を有する問題の扱いは困難であるが、静的なネットワークをサブネットワークとして外部に準備し、かつ、それを相互結合させる手法でこの困難を回避できそうであるが、やはりパラメータ依存性が重要なポイントとなりその部分も調査した。通常のネットワークではコスト項の係数の増加に対して巡回路が出現した時のコストが減少すると言った予想通りの結果を示すが、DS-NET を用いた場合にはこの依存性が逆になる現象を観測した。残念ながらこの理由については明らかにするまでには至らなかった[学会発表]。

さらに、DS-NET の大規模化において全結合型ニューラルネットワークを有する Dynamic ネットワーク部分では、計算の高速化の為にモジュラーニューラルネットワーク[学会発表]の利用を考える必要があり、そのダイナミクスの詳細調査へ向かうための TOY モデルの提案とその解析解の導出を行った[学会発表]。

このモジュラーニューラルネットワークを使った大規模化について、a)実際に GPGPU で実装するにあたり、モジュラーニューラルネットワークを更にモジュラー化するマルチモジュラーニューラルネットワークの構成方法やパラメータに対する正解率や収束速度(実計算時間)の関係について、b)モジュラーニューラルネットワークの利点となる通信コスト削減について更なる削減を実現する為に通信時間間隔にゆらぎを加える効果についての調査を行ない、それぞれ次の成果を得た。a)については2つの通信時間間隔 T_{com1} と T_{com2} に最適な領域の存在を確認することが出来た[学会発表]。b)についてはゆらぎを加えることが通信コストの削減に正に役に立つことを確認することが出来た[学会発表]。

さらにモジュラーニューラルネットワークの最適設計が可能となるように、そのダイナミクスの詳細調査を行ない、状態空間における正解からの距離に応じて、その振幅が正の相関を持つ擬似的なノイズ効果の存在を確認することが出来た。このことは、自動的

に状態が正解状態へ集まる働きが強調されていることを示しており、重要な発見が出来たと考えている[学会発表]。

Static ネットワーク部分では、Dynamic ネットワークで構成される問題の解表現からコスト部分を計算する必要がある。DS-NET のシステムとしての調査は主に巡回セールスマン問題を扱うため単純なネットワークで構成可能であったが、2次配置問題や多目的最適化への拡張、更には、もっと実用的な問題への応用を考慮したときに、階層型ネットワークでの構成を考える必要があり、また、学習によりある程度フレキシブルにコスト計算が可能と出来る必要もあると考える。その為に、階層型ネットワーク学習についても研究も進め成果を得てきた。[雑誌論文][学会発表]

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4件)

“ Back Propagation Learning Based on an IDL Model”, Yuta Horiuchi, Yoshihiro Hayakawa, Takeshi Onomi, Koji Nakajima, Proceedings of the 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 512-515, Luzern, Switzerland, Sep. 2014. (2014/9/17) (査読有)

“ Performance Analysis of Bidirectional Associative Memories by Using the Inverse Function Delayless Model”, Chunyu Bao, Takeshi Onomi, Yoshihiro Hayakawa, Shigeo Sato,, Koji Nakajima, Proceedings of the 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.516-519, Luzern, Switzerland, Sep. 2014. (2014/9/17) (査読有)

Yoshihiro Hayakawa, Takanori Oonuma, Hideyuki Kobayashi, Akiko Takahashi, Shinji Chiba and Nahomi M. Fujiki. “ Feature Extraction of Video using Deep Neural Network”, Proc. 2016 IEEE 15th Int’l Conf. on Cognitive Informatics & Cognitive Computing[ICCI*CC’16], pp.476-481, 2016. Stanford Univ., CA., U.S.A., Aug. 22-23, 2016. (査読有)

Yoshihiro Hayakawa, Takanori Oonuma, Hideyuki Kobayashi, Akiko Takahashi, Shinji Chiba, Nahomi M Fujiki, “ Feature Extraction of Video Using

Artificial Neural Network,” International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence , Vol 11(2), pp.25-40, 2017 (査読有)

[学会発表](計18件)

“ バックプロパゲーション学習における逆関数ゼロ遅延モデルと通常モデルとの比較”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会、NC2014-26, pp. 7-10, 仙台、堀内優太、早川吉弘、小野美武、中島康治、(2014月11日)

“ プレトレーニングで得られるディープニューラルネットワークの学習初期値に関する考察”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会、NC2014-27, pp. 11-14, 仙台、品川政太郎、早川吉弘、小野美武、中島康治、(2014月11日)

“ 大規模人工神経回路網計算のためのモジュラー化の検討”, 早川吉弘、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会 H24/B03「知的ナノ集積システムの課題と展望」, Dec.4, 2014, 仙台

“ DS-net を用いた TSP 解探索性能のアクティブニューロンパラメータ依存性 “、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2014-127 , pp. 83-88, Jan. 2015, 大分、奥田光、早川吉弘 (2015年1月27日)

” DS-net を用いた TSP 解探索手法の詳細調査”, 奥田光, 早川吉弘(仙台大専), 2015年電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画「学生ポスターセッション」, ISS-SP-208, p.208, 2015(3/12)、立命館大学(滋賀)

“ モジュラーニューラルネットワークにおける通信間隔最適制御”, 李 丞鎬(東北大), 早川吉弘(仙台大専), 中島康治(東北大), 2015年電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画「学生ポスターセッション」, ISS-SP-216, p.216, 2015(3/12)、立命館大学(滋賀)

“ 量子化結合ニューラルネットワークの多層化による認識精度の向上”, 品川政太郎(東北大), 早川吉弘(仙台大専), 中島康治(東北大), 2015年電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画「学生ポスターセッション」, ISS-SP-217, p.217, 2015(3/12)、立命館大学(滋賀)

“ 加速関数を導入したバックプロパゲーション学習 ”, 堀内優太 (東北大) ・ 早川吉弘 (仙台高専) ・ 小野美 武 ・ 中島康治 (東北大), 2015 年電子情報通信学会総合大会、A-2-40、滋賀、2015 年 3 月

“ 逆関数ゼロ遅延モデルの加速関数パラメータ依存性 ”, 西村明紘 (東北大) ・ 早川吉弘 (仙台高専) ・ 小野美 武 ・ 中島康治 (東北大), 2015 年電子情報通信学会総合大会、A-2-41、滋賀、2015 年 3 月

“ Toy モデルによるモジュラーニューラルネットワークの動作解析 ”、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2015-19 , pp.109-113, Jun. 2015, 東京 (早稲田大学)、早川 吉弘、松森誠行 (2015 年 6 月 12 日)

“ 通信間隔に揺らぎを入れたモジュラーニューラルネットワーク ”、村岡功・早川吉弘、2016 年電子情報通信学会総合大会、N-1-24、福岡、2016 年 3 月

“ 手書き文字の連続的特徴表現の抽出 ”、大沼峻徳・早川吉弘、2016 年電子情報通信学会総合大会、N-1-29、福岡、2016 年 3 月

“ ニューラルネットワークによる画像特徴抽出とその応用 ”、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2015-153 , pp.63-67, Mar. 2016, 京都 (京都産業大学)、早川吉弘・大沼峻徳・小林秀幸・高橋晶子・千葉慎二・藤木なほみ (2016 年 3 月 17 日)

吉田 留依, 早川 吉弘, ” マルチモジュラーニューラルネットワークの通信時間依存性 ”, 2016 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会講演論文集, NLS-38., 東京, 2016/06/12 (査読有)

“ 逆関数ゼロ遅延モデルの動作解析と性能調査 ”、松森誠行、早川吉弘、平成 28 年度東北地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム 講演論文集、pp.92、2016(11/27)

“ モジュラーニューラルネットワークとノイズ効果の関係 ”、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2016-91, pp.39-44, Dec. 2016, 名古屋 (中京大学)、村岡功・吉田留依・早川吉弘 (2016 年 12 月 12 日)

“ 通信間隔に揺らぎを入れた MNN と TSP

の関係 ”、村岡 功・早川吉弘、2017 年電子情報通信学会総合大会、N-1-3、名古屋(名城大)、2017 年 3 月

“ 学習方法と連続的特徴表現の関係 ”、大沼峻徳・千田正史・小林秀幸・高橋晶子・千葉慎二・藤木なほみ・早川吉弘、2017 年電子情報通信学会総合大会、N-1-21、名古屋(名城大)、2017 年 3 月

6 . 研究組織

早川 吉弘 (HAYAKAWA Yoshihiro)
仙台高等専門学校・情報システム工学科・教授

研究者番号 : 2 0 2 5 0 8 4 7