

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500291

研究課題名(和文) アクティブ人工神経回路に基づく最適化システムプラットフォーム開発

研究課題名(英文) Platform Development of Optimization System based on Active 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) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：人工神経回路網を用いた組み合わせ最適化問題解法を目的とする実用化システムに関する研究であり次の成果を得た。1)我々が提案したアクティブニューロンモデルをベースに、実用的な問題の代表例である巡回セールスマン問題の正解を確実に得られる、高次結合ネットワークを提案し、さらに、高速計算を目標にDS-NETへと拡張を行った。2)並列計算アルゴリズムの適用を目的に、GPGPU利用とモジュラーニューラルネットワークを提案することにより、計算時間の大幅な短縮成功した。3)システム設計の為にGUI設計支援ツールにおいてWEBベースで動作可能なプロトタイプアプリケーションを開発した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is about a practical system based on Artificial Neural Networks, our results are as follows. To use this network, we can always get a best solution of Travelling Salesman Problem which is a practical and typical one. Moreover, we proposed a DS-net to improve calculation time. 2) To the purpose of applying a parallel computation algorithm, we proposed a modular neural network and we used a GPGPU technique and then we achieved an extensive calculation time reduction. 3) We developed a prototype supportive GUI tool to design the neural network system.

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 組合せ最適化問題 アクティブ 負性抵抗 GUI

1. 研究開始当初の背景

現在の計算機で困難 (NP-Hard) とされる組み合わせ最適化問題 (COP) への人工神経回路の適用は、低炭素社会の実現に必要なコスト問題など、人の判断を支援する機械の基盤技術として重要である。我々は、2002年に逆関数遅延(ID)ニューロンモデルを提案するに至り、これまで人工神経回路応用では常に大きな障害となっていた極小値問題を、実用化システムの視点から適切に回避できることを示してきた。従って、このIDモデルを有効かつ適切に利用することにより、これまで諦められてきた現実的レベルでの人工神経回路網を用いた最適化問題解法システム化の研究をすべき時期が到来したものと考えるに至った。

2. 研究の目的

我々が念頭に置いている最適化システムとは、1990年前後にHopfieldらにより巡回セールスマン問題 (TSP) を使って示されたエネルギー関数に基づく情報処理システムである。この方式は、並列分散処理を有効に利用しつつ、システム固有の一種のリアプノフ関数に対応するエネルギー関数値が常に時間と共に減少する性質を利用するものであり、COPの問題サイズ増加に伴う指数関数的計算時間の爆発回避に有効であるとされてきた。特にCOPは、効率的な物流の計画をはじめ、電力の供給経路の決定など、工学においても頻繁に出現する重要な問題であり、また、複雑なシステムにおける意志決定支援ツールを研究するオペレーション・リサーチの分野でも、待ち行列、施設配置、巡回セールスマン問題などで頻繁に現れる課題でもある。もちろん、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する) 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単なる最急降下であるために、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2002年に提案した逆関数遅延(ID)ニューロンモデルは、これまで簡略化の為に切り捨てられてきた神経細胞のミクロな知見を再導入することで、回路網動作の性能向上に大きく寄与できる。この性能向上の主な理由は、提案モデルのダイナミクス中に現れる負性抵抗にあり、結果として状態空間内に制御可能な負性抵抗領域 (アクティブ領域) が設定されることによる。極小値の問題に対して、この負性抵抗は非常に有効に作用し、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が明らかにされている。

エネルギー関数に基づく情報処理の性能向上に関連する他の研究として代表的なものは、カオスダイナミクスを利用したモデル回路網システムである。この手法はカオスダイナミクスもしくはカオスノイズを利用して極小値から脱出させるものである。しかしながら、その性能評価においては、十分な時間観測をすれば最適解に滞在(通過)している確率が現れるというものであり、正解を得るためにはそれ相応の統計量を得る必要があり、実用化の観点からは必ずしも使い勝手は良くない。

従って、最適化システムの実用化には、アクティブ人工神経であるIDモデルネットワークが適していると考えられる。しかし、本モデルは我々が提案し研究を進めてきたモデルであるため、実用化へ向けたその周辺技術は未熟なままであり、この部分を本申請研究で進めようとするものである。

本申請研究「アクティブ人工神経回路に基づく最適化システムプラットフォーム開発」は、

アクティブ人工神経回路を使った最適化システムを実用化システムとして実現するのに必要な各研究対象を検討・検証することにある

3. 研究の方法

本申請研究「アクティブ人工神経回路に基づく最適化システムプラットフォーム開発」は、アクティブ人工神経回路を使った最適化システムを実用化システムとして実現するのに必要な各研究対象を検討・検証することである。そこで、本申請研究の具体的な研究項目は、以下の4点である

- (1) 実用的な問題を扱える大きなサイズの最適化問題を扱え、かつ、スケールフリーで性能が保証されることの検討・検証。
- (2) 10^{6-7} 程度のニューロン数を要する時でも、演算が一時間以内に完了できる技術を確立すること。
- (3) GUIを使ったアクティブ人工神経回路設計支援ツールの開発。

項目(1)の実用化という部分については、解決すべき組み合わせ最適化問題として、巡回セールスマン問題(TSP)がその代表例となるが、これまでのIDネットワークにおいて用いてきた、2次形式のエネルギー関数では限界がある。そこで高次のエネルギー関数への拡張をも視野に入れた次世代型高次ID音とワークモデルの検討・検証を行う。

項目(2)の大規模な計算の高速化に関しては、IDニューロンモデルの実装は、現実的には数値計算(シミュレーション)となるため、連立常微分方程式の形で表現されるため、原理的には超並列計算が可能な神経モデルであっても、現状では高価な計算コストを支払わなければならない。しかも、アクティブな神経モデルを計算する場合に、異なる時定数を

方程式内で必要とするために通常の数値計算では、計算時間の限界をすぐに迎えてしまう。

したがって、選択肢はデジタルシステムベースでの実装を検討する必要がある、そのための基本エレメントの計算手法またはモデルそのものの再検討を行う。また、高速演算の観点で並列計算アルゴリズム利用やGPGPU技術利用の検討・検証も行う。

項目(3)の課題については、本研究のターゲットとするニューラルネットワークのエネルギー関数に基づく情報処理では、現状では対象とする問題をヒューリスティックに必要な数の拘束条件を見つけ、それを手作業でエネルギー関数の形に適用していく必要がある。しかも、この拘束条件の取り扱いが、回路網の基本的な構成に影響し、かつ、高い処理性能を実現するネットワークデザインが可能かどうかにも影響を及ぼすものである。従って、このヒューリスティックな処理の負担を軽減することは、実際的な利用シーンを考えるときに重要であり、GUIを使ったアクティブ人工神経回路設計支援ツール開発が必要であり、その開発を行う。

4. 研究成果

本申請研究で核となるIDモデルベースのニューラルネットワークシステムは、N-queen問題に代表されるコストを含まないような組合せ最適化問題では、100%の正解率が達成可能であるが、より現実的なコストを含む例えば巡回セールスマン問題(TSP)では高い正解率を得るには至ってなかった。この原因は、エネルギー関数が2次形式で構成されることを前提としてことに起因しており、高次関数への拡張を考慮した高次結合型IDモデルの検討・開発を行い成功した。また、この高次結合型IDモデルの克服すべき課題は、結合数の増加による計算コストの増大であり、この点

を解決すべく、初期には離散動作モデルの検討を行いことを検討して実際に実装できた。この手法をより一般的かつ実用的な問題適用可能な設計手法の提案も出来ている。さらに、より現実的なサイズの問題を扱えるように、微分方程式から大胆な離散モデルへと変更した逆関数遅延なし(IDL)モデルの提案・検討・検証を行い、一定の高速化の実現可能性を認めることが出来た。最終的には、高次結合ネットワークモデルでの希望拡大の限界を見極め、複数のネットワークの相互作用を使う **Dynamic Static network (DS-net)**を導入することで、TSP問題において約50都市(2,500ニューロン)問題でも本手法による正解探索が可能であることを示した。これらは、先の項目(1)に関連する実用的な問題に対して正解という性能を保証できる部分での成果である。

次に、大規模ネットワークを現実的な時間で処理するという観点の研究であるが、ニューラルネットワークの情報処理は、計算機上のシミュレーションでその動作を実現しているのが現状である。従って、原理的には超並列計算が可能である神経モデルであっても、現実には計算時間の問題を避けられない状況であった。そこで、次の2方面から打開策を検討した。

(1) 並列計算アルゴリズムの一手法であるMPIプログラミング技術を使い、本申請研究で提案したモジュラー型ニューラルネットワークを適用することで、従来方式の最大で16倍の速度向上を達成できた。

(2) さらに数値計算上の並列化を進めるためにGPGPU技術の利用の検討を行った。その結果は(1)MPIプログラミングよりさらに大規模な神経回路網システムにおいても十数倍程度の計算速度の向上を達成できた。しかし、目標の「 10^{6-7} 程度のニューロン数を要

する時でも、演算が一時間以内に完了できる技術」までは到達できなかった。

実社会には様々な応用問題があるが、本研究で達成したネットワーク規模かつ計算時間でも適用できるものはあると考えている。

GUIを使ったアクティブ人工神経回路については、html5により記述した図1に示すシステムを完成させることが出来た。直感的な操作環境までは至らなかったが、一度でも自力で組合せ最適化問題のエネルギー関数を記述した経験のあるユーザであれば、十分に設計時の負荷を軽減できるものとなっている。

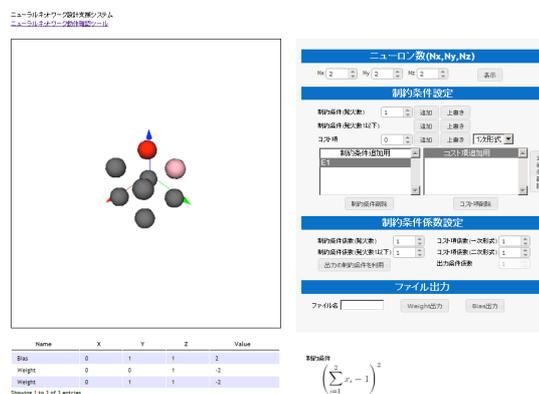


図 1

なお、本GUI支援システムは、ニューロンの配置が3Dでも対応可能としている。

以上が本申請研究の主な成果である。

5. 主な発表論文等 [雑誌論文] (計4件)

- ① “逆関数遅延ネットワークを用いた最適化問題解探索の為の高次形式 エネルギー関数設計法”, 曾田尚宏, 早川吉弘, 佐藤茂雄, 中島康治, 電子情報通信学会論文誌A, vol. J96-A, no. 1, pp. 12-21, Jan. 2013. 査読有
- ② “A Modular Neural Network for Parallel Computation”, Y. Hayakawa, D. Sasaki and K. Nakajima, Proceedings of the 2012 International Symposium on

Nonlinear Theory and its Applications, pp. 723-726. 査読有

- ③ “Method of Solving Combinatorial Optimization Problems with Stochastic Effects”, Takahiro Sota, Yoshihiro Hayakawa, Shigeo Sato and Koji Nakajima, ICONIP 2011, Part III, LNCS 7064, pp. 389-394. 査読有
- ④ “An application of higher order connection to inverse function delayed network”, Takahiro Sota, Yoshihiro Hayakawa, Shigeo Sato and Koji Nakajima, Nonlinear Theory and Its Application, IEICE, Vol. 2, No. 2, pp. 180-197, 2011. 査読有

[学会発表] (計 18 件)

- ①” 異なる時定数を有するモジュラーニューラルネットワークの性能調査”, 添野里衣子, 早川吉弘(仙台大専), 2014 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-P232, pp. 97、2014(3/19). 新潟
- ②” DS-net を用いた TSP 極小値の不安定化”, 奥田光, 早川吉弘(仙台大専), 2014 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-P233, pp. 98、2014(3/19). 新潟
- ③” DS-net と IDL モデルを用いた最適化問題解探索”, 電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2013-137 , pp. 45-50, Jan. 2014, 渡邊裕斗、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治(2014 年 1 月 21 日)、倶知安
- ④” DS-net とアクティブニューロンモデルの有効性の検討”, 電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2013-102 , pp. 159-164, Oct. 2013, 早川吉弘、奥田光、渡邊裕斗、中島康治 (2013 年 10 月 29 日)、高松
- ⑤” GPU を用いた高機能ニューラルネットワークの高速計算”, 電子情報通信学会非

線形問題研究会、NLP2013-103 , pp. 165-168, Oct. 2013, 丹野航太、早川吉弘 (2013 年 10 月 29 日)、高松

- ⑥” DS-net における逆関数ゼロ遅延(IDL)モデルの有効性”, 電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会、A-2-11、2013 年 9 月、渡邊裕斗、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治 (2013 年 9 月 20 日)、福岡
- ⑦” マルチ GPU を用いたモジュラーニューラルネットワーク”, 丹野航太・早川吉弘 (仙台大専), 2013 年電子情報通信学会総合大会、A-2-28, 2013(3/21). 岐阜
- ⑧” 逆関数ゼロ遅延(IDL)ネットワーク”, 渡邊裕斗 (東北大)・早川吉弘 (仙台大専)・佐藤茂雄・中島康治 (東北大), 2013 年電子情報通信学会総合大会、A-2-29, 2013(3/21). 岐阜
- ⑨ ” モジュラーニューラルネットワークの収束性の検討”, 添野里衣子, 早川吉弘 (仙台大専), 2013 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-P304, pp. 146、2013(3/21). 岐阜
- ⑩” 制約条件と目的関数を分離した TSP 用ニューロシステムの検討”, 奥田 光, 早川吉弘(仙台大専), 2013 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-P305, pp. 147、2013(3/21). 岐阜
- ⑪” 逆関数ゼロ遅延(IDL)ネットワーク”, 電子情報通信学会 2013 年総合大会、A-2-29、2013 年 3 月、渡邊裕斗、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治 (2013 年 3 月 21 日)、岐阜、
- ⑫”GPGPU を用いたモジュラーニューラルネットワーク”, 丹野航太, 早川吉弘, 2012 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会, A-2-6、2012(9/12). 富山
- ⑬”高次結合ネットワークによる最適化問題解探索の為のエネルギー関数設計法”,

曾田尚宏、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治、信学技報、NLP2011-148(2012-3), pp. 39-44, 2012(3/27). 長崎

- ⑭” GPU を用いたニューラルネットワークの高速計算”, 丹野航太・早川吉弘, 2012 年電子情報通信学会総合大会, A-2-2, 2012(3/20). 岡山
- ⑮” 逆関数遅延モデルを用いたモジュラーニューラルネットワーク”, 佐々木大輔・早川吉弘, 2012 年電子情報通信学会総合大会, A-2-3, 2012(3/20). 岡山
- ⑯” 学位論文審査会スケジューリング問題とその解探索システム”, 曾田尚宏 (東北大)・早川吉弘 (仙台大専)・佐藤茂雄・中島康治 (東北大), 2012 年電子情報通信学会総合大会, D-2-9, 2012(3/20). 岡山
- ⑰” 組み合わせ最適化問題用ニューラルネットワーク設計支援システム”, 小田川祐太, 早川吉弘, 中島康治, 平成 23 年電気関係学会東北支部連合大会, pp. 140, 2011(8/26). 仙台
- ⑱” Higher Order Connections Network with Stochastic Logic for Optimization Problems”, Takahiro Sota, Yoshihiro Hayakawa, Shigeo Sato and Koji Nakajima, pp. 4 2011(8/26). 仙台

6. 研究組織

(1) 研究代表者

早川 吉弘 (HAYAKAWA Yoshihiro)
仙台大専高等専門学校・情報システム工学科。
教授
研究者番号：20250847

(2) 研究分担者

中島 康治 (NAKAJIMA Koji)
東北大・電気通信研究所・教授
研究者番号：60125622