

プログラム名：量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現

PM名：山本 喜久

プロジェクト名：量子人工脳

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 27 年 度

研究開発課題名：

脳 型 情 報 処 理

研究開発機関名：

東 京 大 学

研究開発責任者

合 原 一 幸

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

コヒーレントイジングマシン（CIM）に脳型並列分散情報処理を融合するためのハミルトニアン項やゼーマン項の設計指針を相互結合型ニューラルネットワークとの関連から明らかにするとともに、CIMの最適化非線形ダイナミクスの分岐現象等の基本特性を解析することを目標とする。この目標に向けて、量子人工脳を実現するための脳型情報処理機構の数理的基盤の中で、特にCIMに脳型並列分散情報処理を融合するためのネットワーク構成手法の基礎的検討およびその最適化非線形ダイナミクスの基礎的解析を行なう。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

CIMに脳型並列分散情報処理を融合するためのネットワーク構成手法の基礎的検討およびその最適化非線形ダイナミクスの基礎的解析に関して以下の研究を行った。

【脳型計算】

- 縮退光パラメトリック発振器（DOPO）ネットワークで実装が可能な、駆動散逸系を用いた新たな組み合わせ最適化手法を開発した。
- CIMを用いて神経細胞の発火ダイナミクスをシミュレートする方法を新たに開発した。
- 連想記憶モデルをCIMに実装する手法について、より詳細な数値シミュレーションを行った。
- 巡回セールスマン問題をCIMで解く手法について、より詳細な数値シミュレーションを行った。
- 複数の応用上重要な組み合わせ最適化問題に関して、実装上の制約を満たすような具体的なCIMへのマッピング法の有無を調査した。

【最適化】

- CIMの応用として有用な組合せ最適化問題を調査した。

【非線形計算】

- CIMを念頭に非線形ダイナミクスに基づく計算機能の検討を行い、その拡張を行った。
- 複素ニューラルネットワークに用いられる非線形性を有する活性化関数のXYマシンへの利用可能性を検討した。
- 複雑ネットワーク上のノード間距離をユークリッド空間で定義した。

【機械学習】

- 昨年度定式化した0-1整数計画を利用した新しいマーク付き点過程の距離の定式化を改良した。
- 深層学習のモデルと関係があるテンソル型モデルの学習理論を拡張した。

【分岐解析】

- CIM を表現する非線形微分方程式系について、MAX-CUT3 問題などを例にして分岐構造の可視化と局所最適解を回避するフィードバック制御の検討を行った。

2-2 成果

本年度は、以下のような研究成果が得られた。

【脳型計算】

- 数値シミュレーションにより、駆動散逸系を用いた最適化手法がサイト数 350 までのスピニングラス問題を解けることを示した。
- 数値シミュレーションにより、CIM がクラス I とクラス II の神経細胞の発火特性を再現出来ることを示した。
- 数値シミュレーションにより、CIM に実装した連想記憶モデルの記憶容量を評価し、各種パラメータ依存性を明らかにした。
- 数値シミュレーションにより、巡回セールスマン問題を CIM で解く際のノイズの影響などを明らかにした。
- 調査の結果、頂点彩色問題や最大クリーク問題などが現時点の実機で実装可能であることが分かった。

【最適化】

- 最大カット問題に対する解法や既存の重要な結果を調査し、CIM による解法との比較・検討を行った。

【非線形計算】

- CIM と同様に非線形ダイナミクスに基づく離散変数のサンプリング法である Herded Gibbs 法を、連続変数のサンプリング法へと拡張した。
- XY マシンによる学習の実現に、階層型位相ニューラルネットワークの枠組みが適している可能性が示唆された。
- ネットワークの新たな分類を提案することができた。

【機械学習】

- 拘束条件付きの 0-1 整数計画問題として定式化していたマーク付き点過程の距離の定式化を、拘束条件なしの 0-1 整数計画問題として書き換えた。
- テンソル型学習モデルの無限次元への拡大を行い、その学習性能がミニマックス最適性を満たすことを理論的に示し、また実データにおいてその有用性を示した。

【分岐解析】

- 柔軟にポンプレートを変更した場合の分岐構造を明らかにした。
- 分岐解析結果を基に、ポンプレートの設計指標を提示した。

2-3 新たな課題など

今後の新たな研究課題を以下に示す。

【脳型計算】

- 駆動散逸系を用いた最適化手法の性能をベンチマーク問題でより詳しく評価すると同時に、理論面からもその動作機序を明らかにすることを旨とする。
- より多様な神経細胞の発火特性を CIM で表現出来るよう、手法の改良に取り組む。
- 深層学習などの機械学習に応用できるような、CIM を用いてボルツマンマシンの学習過程を実装する手法の開発に取り組む。
- 頂点彩色問題や最大クリーク問題などについて、数値シミュレーションおよび実機での動作確認を進めていく。

【非線形計算】

- 引き続きより多くの計算機能について、非線形ダイナミクスによる実現法を検討する。
- 位相ニューラルネットワークを用いたオートエンコーダを検討する。
- ネットワーク分類法の物理的実装可能性を検討する。

【機械学習】

- マーク付き点過程の距離の計算を CIM 上で実際に実装を試みる必要がある。そして、実装が可能な場合には計算速度の高速化ができるかどうかを評価する。現状で実装が不可能な場合には実装可能な形にさらに修正できるかどうか 検討する。
- テンソル型モデルの学習理論は深層学習の学習効率の解析へ援用できるが、その多層性による理論的困難が未だ残っている。深層学習の理論的評価に加え、いくつかの応用における実装を通して理論の進展を模索する。

【分岐解析】

- 分岐構造を可視化するには、解析従事者の分岐構造に関するノウハウが求められ、また、その構造はネットワークに依存している。
- 特に、大規模ネットワークや制御問題の検討において問題点となりうるため、分岐構造とネットワークトポロジーの関係性や効率的な構造解析・可視化手法の検討が求められる。

3. アウトリーチ活動報告

東京大学生産技術研究所で行われる「駒場リサーチキャンパス公開」において、一般向けに研究室公開を行った。また、中高生を対象とした「未来発見フォーラム 2015」において、講演を行った。