

平成 27 年 3 月 31 日

プログラム名：量子人工脳を量子ネットワークでつなく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 26 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

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、コヒーレントイジングマシン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、特にコヒーレントイジングマシン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

コヒーレントイジングマシン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】

- Y コヒーレントイジングマシンと脳型情報処理の融合のため、用語の対応関係の確認や基本概念の整理をした。
- Y ヒステリシス最適化を用いてコヒーレントイジングマシンの性能向上を検討した。
- Y 組合せ最適化問題を解く Hopfield-Tank Neural Network を、コヒーレントイジングマシンで実装するための検討を行った。
- Y 連想記憶ネットワークをコヒーレントイジングマシンに実装するための検討を行った。

【最適化】

- Y イジングモデルを連続緩和して得られる力学系の挙動を考察した。

【非線形計算】

- Y コヒーレントイジングマシンによる実装が適していると考えられる、非線形ダイナミクスに基づく計算機能を検討した。また、分岐現象を応用した種々の情報処理システムについて調査した。
- Y ネットワーク上の量子ウォークを、開放量子系の立場から議論し、共鳴状態や束縛状態について考察を加えた。

【機械学習】

- Y 従来の高次元スパース学習における学習理論を発展させた脳型情報処理の学習理論構築の検討を行った。
- Y 点過程の距離の計算法とコヒーレントイジングマシンの性質との関係を整理した。

【分岐解析】

- Y コヒーレントイジングマシン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現象を解析している。

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】

- Y ヒステリシス最適化により、DOPO による組み合わせ最適化問題における性能が向上することを明らかにした。
- Y Hopfield-Tank Neural Network をコヒーレントイジングマシンで動作させることに成功し、巡回セールスマン問題に適用したコンピュータシミュレーションにより、小規模問題では十分な性能を持つことを確認した。
- Y 連想記憶ネットワークを DOPO の数理モデルとして実装し、基本的な動作を確認した。

【最適化】

- Y コヒーレントイジングマシンに実装される力学系の挙動を、最適化手法の観点から整理した。

【非線形計算】

- Y 離散時間のサンプリング法であるハーディング系を、コヒーレントイジングマシンと同様の連続時間系として実装する方法を考案し、カオスのダイナミクスを持つことを示した。
- Y 様々な分岐現象を利用することで、コヒーレントイジングマシンを新たな最適化問題に適用できる可能性があることが分かった。
- Y 共鳴状態と束縛状態からなる完全系を得た。これによってネットワーク上の量子ウォークをより効率的に議論できる。

【機械学習】

- Y 我々の既存の手法とコヒーレントイジングマシンとの間の共通点を解析した。また、コヒーレントイジングマシンに適した、0-1 整数線形計画を使った新たな点過程の距離の計算手法の定式化を開発した。
- Y マジョライジングメジャーやカバリングナンバーの評価可能性についてある一定の理解を得た。また、多数の局所解の存在がモデルの複雑さとモデルバイアスの良い均衡を与える鍵となる理論的示唆を得た。

【分岐解析】

- Y MAX-CUT3 問題において、pitchfork 型の分岐が生じることを確認した。
- Y 分岐集合を 2 パラメータ平面で求め、局所最適解の存在領域等を特定した。

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】

- Y これまでに基礎的動作を確認した脳型計算の性能を高める必要がある。今後は、分岐解析によりシステムの特性を深く理解した上で、多様なシナプス可塑性の学習理論などを組み合わせることで、性能の改善に取り組む。
- Y 来年度より FPGA 回路による量子フィードバック制御系が使用可能となる予定なので、実機の特性を踏まえたモデルの修正などを適宜行う。

【非線形計算】

- Y 今後も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必要があると考えられる。さらに、所望の分岐現象を生じるシステムをコヒーレントイジングマシンを用いて設計する方法を検討する必要がある。
- Y どのようなネットワークを使えば、より効率的な量子ウォークを実現できるかを考える必要がある。

【機械学習】

- Y 愚直に解いている範囲では、イベントの数に大きな差がある場合に、既存の最小費用完全マッチング問題で解く手法よりも速い傾向がある。コヒーレントイジングマシン上での実装でさらに計算速度が高速化できるかを評価する必要がある。
- Y ディープニューラルネットワークのモデル複雑さとドロップアウトなどの正則化技法の関係を詳細に評価する必要がある。また実時系列データのディープニューラルネットによる解析手法の構築とその実験を行なう必要がある。

【分岐解析】

- Y 分岐問題自体は対象となる最適化問題に依じて個々に解くことは可能であるが、その効率化が課題である。また、分岐解析で得た知見を活かし、局所最適解の抑制方法を検討中である。

3 . アウトリーチ活動報告

なし