

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 29 年度

研究開発課題名：

コヒーレントイジングマシンの産業利用に向けた

スパース性を用いた最適化手法の開発

研究開発機関名：

東北大学

研究開発責任者

大関 真之

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

本課題では、コヒーレントイジングマシンの産業応用の代表的なアプリケーションの創出を目指して、圧縮センシングを中心とするスパース性を利用した最適化問題の解法を、コヒーレントイジングマシンに特化した形で開発を進める。更にその性能評価として、医用画像等圧縮センシングの利用例が豊富な実問題で、産業利用の可能性を検討する。

前年度までの研究により、イジング型のハミルトニアンに帰着されるスパースな 0-1 信号の再構成問題や、連続最適化との併用により、スパースな連続値信号の再構成問題へコヒーレントイジングマシンを利用する方法論を確立した。また NII 宇都宮氏との連携により、コヒーレントイジング・XY マシンの進化の方向性を策定した。これらのことから、コヒーレントイジング・XY マシンの利用先として、医用画像等への圧縮センシングの適用を目指し、実データの解析を行う。その際、イジングの 0-1 では連続値を取り扱うのに不十分であるため、イジング変数を組み合わせた多階調化を行いより現実的な利用が可能となるように拡張したモデルを利用する。さらに離散的な自由度を持つイジングモデルの場合ある種の硬さを有するため、連続値を利用した XY モデルを利用した場合について、どのように性能が変化するかを評価する。レプリカ法による評価のほか、ダイナミクスの振る舞いを平均場近似をもちいることで有効的なフォッカープランク方程式を構築して、求めたい解への収束の速度を議論する。並行して、確率過程の定常状態への緩和加速法の適用可能性や、コヒーレントイジング・XY マシンの機械学習、確率最適制御など応用例の探索を行う。

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

スパースな信号の再構成の問題において、イジング変数で表される 0-1 信号だけでは不十分であり、より連続値に近いような信号を扱えるように拡張するという課題があった。そこで今年度は 0-1 信号の組み合わせによる多階調化を試みた。具体的にモデルを提案し、それをコヒーレントイジングマシンで解析する方法も考案した。この解析法がどのようなタイプの問題に有効なのかという点は重要であるが、評価するのが難しく、課題として残っている。この研究において、イジング変数によっても連続値に近い状況を扱えることを確認できたが、一方では、応用を議論する際にもコヒーレントイジングマシンの基本的性質のより深い理解が必要であるという認識に至った。実データへの適用の前に、コヒーレントイジングマシンの基本的性質を明らかにするため、今年度の課題でもあったダイナミクスのふるまいを調べることに注力した。この際、計画していた通り、コヒーレントイジングマシンを有効的に記述するフォッカープランク方程式を構築して解析した。ダイナミクスについて特に次の二点に注目した。コヒーレントイジングマシンが最適化問題を解く計算にどの程度の時間を要するのか、そして、最終的にどのような解が得られるのか、である。計算時間については、その評価につながる断熱定理に類する不等式の導出に成功し、理論的理解が進んだ。これに基づき、今後は、産業利用に向けて必要となる計算時間の具体的評価法の検討を行う。そして計算時間をより短くするために、確率過程の定常状態への緩和加速法を適用する方法を見出すことが次の課題となる。二点目の、どのような解が得られるかという点

については、ひとまず計算時間を無視し、長い時間をかけた場合を考えた。その下で、どういう状態がどういう確率で起こり得るのかを明らかにし、解きたい最適化問題に対してどのようにパラメータを設定すれば良いかの指標を得た。そして特定の問題においては正しい解が得られることを確認した。今後はより一般の問題に対して、正しい解に対応する状態へ高確率で到達する方法の確立を目指す。特に圧縮センシングなどのスパース性を利用した最適化問題における方法を明らかにする。これら基本的性質の理解に基づいて、コヒーレントイジングマシンを有効利用できるその他の応用例を探索する。

2-2 成果

「2-1 進捗状況」でも述べた通り、中心的課題である、スパースな信号の再構成の問題において、コヒーレントイジングマシンを利用する方法を拡張した。特に連続値に近い信号の問題へ応用するために、多階調の信号のモデルを提案し、コヒーレントイジングマシンでそれを扱う方法を考案した。また、コヒーレントイジングマシンの性能を評価するという課題については、その基本的性質を明らかにする理論的研究を進めた。ダイナミクスに注目し、最適化問題を解くために必要な計算時間についての不等式評価と、得られる解の分布についての結果を得た。これらの成果に関して、現段階では論文での発表には至っていないが、国内外のいくつかの会議において発表を行った。また、一般的な量子ダイナミクスの速度限界についても成果を得ており、これについては論文の形で Physical Review Letters において発表した。

2-3 新たな課題など

スパースな信号の再構成問題にコヒーレントイジングマシンを応用する研究を進めたが、そこで考案した方法の有効性などを議論する際に、コヒーレントイジングマシンの性質のより深い理解が必要であるという認識に至った。性能の理論的評価は、当初からの課題の一つであり、現在はこの課題に特に注力して研究を進めている。性能の評価においてはダイナミクスを中心に議論するが、そこでは詳細つり合いの破れが重要な要素であることが明らかになった。詳細つり合いの破れは、計算を速くする効果が期待できる一方、同時に、性能を解析すること自体を難しくする要因になっている。詳細つり合いの破れの効果を部分的に取り入れるなどして、解析できる範囲で、その破れの計算速度への影響を評価することを計画している。

3. アウトリーチ活動報告

特になし