

TSUBAME 共同利用 令和6年度 学術利用 成果報告書

利用課題名 量子アニーリングにおける近似的断熱ショートカット
英文: Approximated shortcuts to adiabaticity in quantum annealing

利用課題責任者: 早坂 太志
Hiroshi Hayasaka

産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
<https://www.aist.go.jp>

邦文抄録(300 字程度)

我々は磁化のダイナミクスを計算することで、平均場近似された CD 項を構築する手法を提案した。量子スピングラス模型に対して量子アニーリングを行ったところ、平均場近似された CD 項を用いることにより正解率のスケールリングが改善されることが分かった。

英文抄録(100 words 程度)

The counter diabatic (CD) driving has attracted much attention for suppressing non-adiabatic transition in quantum annealing (QA). However, it can be intractable to construct the CD driving in the actual experimental setup due to the non-locality of the CD driving Hamiltonian and necessity of exact diagonalization of the QA Hamiltonian in advance. Using our method, we clarify that a scaling of success probability is improved compared to the conventional QA without the CD driving.

Keywords: Quantum annealing, Counter diabatic driving, Spin glass, Mean field theory

背景と目的

量子アニーリング (QA) は、量子多体系の基底状態を求める手法として注目を集めている [1]. 一般に QA では、ハミルトニアンによる状態変化を断熱条件を満たすように、長い時間をかけ行う必要がある。一方、Counter-diabatic (CD) ドライブの方法は、非断熱遷移を抑制し、短時間での量子アニーリングを行うことを可能にすることが知られている [2, 3]. しかしながら CD 項の構成には厳密な固有状態を事前に用意する必要があるうえに、CD 項が非局所的な形で表されるため、実際に実装する際には困難を伴う。

この問題を解決する一つの方法として、CD 項を平均場近似する手法が知られている [4]. 平均場理論において相互作用が一様な強磁性イジング模型の場合、解くべき平均場方程式 (自己無撞着方程式) は系を代表する一つの磁化の閉じた方程式となる。

しかし相互作用がランダムな問題では、

各量子ビットのもつ磁化を区別する必要があるため、自己無撞着方程式は、システムのサイズを L としたとき、 L 個の非線形な連立方程式となる。平均場 CD 項の構成にはこの非線形な連立方程式を量子アニーリングの各時刻で解く必要があるため、計算時間の律速となる。

この問題を解決するため、我々は磁化のダイナミクスを計算することで、平均場近似された CD 項を得る手法を提案する。我々の方法では各時刻で自己無撞着方程式を解く必要はなく、初期配位のみを与えれば良い。この手法を用いて量子スピングラスに対して量子アニーリングを行い、正解率のスケールリングが通常の QA に比べて改善することを示す。

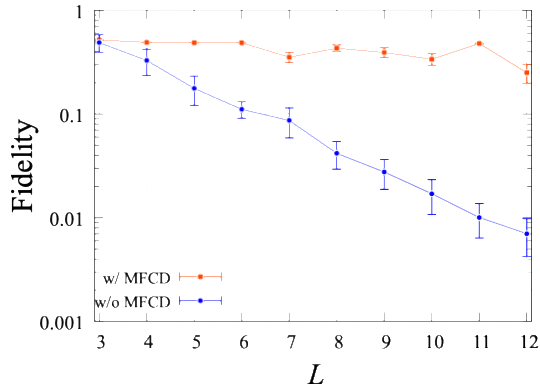
概要

非一様な相互作用をもつスピン系において、平均場近似された CD 項を構成する手法を提案した。この手法を用いて量子スピングラスに対して量子アニーリングを行っ

たところ、正解率の向上が確認できた。

結果および考察

(a)



(b)

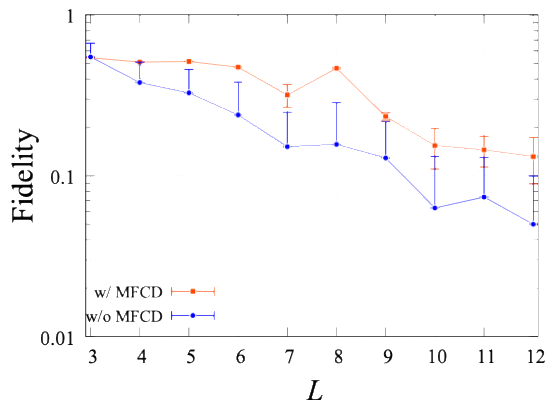


図 1. 正解率のスケールング. (a) 無限レンジ横磁場スピングラス模型. (b) 1次元横磁場スピ鎖. アニーリング時間は $T=1$ とした. 赤線が平均場 CD 項を用いた場合. 青線が通常の QA.

平均場近似された CD 項を横磁場スピングラス模型に対して適用し量子アニーリングを行った (図 1). スピングラス模型の相互作用は正規分布で与えられるものを選んだ. また無限レンジ系 (図 1(a)), および 1 次元スピ鎖 (図 1(b)) を扱った. 相互作用のサ

ンプル数 (インスタンス数) は 16 サンプルとした. また磁化が準安定解に落ち込むのを回避するために一様ランダムな縦磁場を導入した. 縦磁場のサンプリングは各インスタンスに対してそれぞれ 48 サンプルを取った. インスタンス数と縦磁場のサンプル数の両方に関する平均値を正解率としてプロットしてある. 図 1(a), (b)より, 平均場近似された CD 項を用いることで, 通常の QA よりも正解率のスケールングが改善されることを明らかにした. また無限レンジ系の方が 1 次元スピ鎖よりも平均場近似された CD 項の効果がより顕著に現れている. 一般に平均場近似は高次元系の方が良い近似となるため 1 次元よりも高い次元ではより平均場近似された CD 項の効果が現れることが期待できる.

まとめ、今後の課題

我々は磁化の平均場ダイナミクスを計算することで, 平均場近似された CD 項を構築する手法を提案した. 量子スピングラスに対して量子アニーリングを行ったところ, 平均場近似された CD 項によって正解率の向上が確認できた.

参考文献

- [1] T. Kadowaki, et al., Phys. Rev. E, **58**, 5355 (1998)
- [2] M. Demirplak, et al., J. Phys. Chem. A **107**, 9937 (2003)
- [3] M. V. Berry, J. Phys. A: Mathematical and Theoretical **42**, 365303 (2009)
- [4] T. Hatomura, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 094002 (2017)