

SQA における Reverse Annealing スケジュールと演算特性

Reverse Annealing Approach for Simulated Quantum Annealing (SQA) with 2D Ising Spin Computing

東京農工大¹、釧路高専² [○]島田萌絵¹、三木司¹、平田鷹介¹、伊藤光樹²、白樫淳一¹

Tokyo University of Agriculture & Technology¹, NIT, Kushiro College²

[○]M. Shimada¹, T. Miki¹, Y. Hirata¹, M. Ito², and J. Shirakashi¹

E-mail: s194797x@st.go.tuat.ac.jp

近年、組合せ最適化問題を効率的に解く手法として、イジングスピンモデルが注目を集めている[1, 2]。イジングスピンモデルでの解探索では、局所解を回避するために揺らぎを導入する。効率的な解探索のために、シミュレーテッドアニーリング(熱揺らぎ)と量子アニーリング(量子揺らぎ)をそれぞれ適切にスケジューリングすることが必要となる。これまで我々は、2D イジングマシンにシミュレーテッド量子アニーリング(Simulated Quantum Annealing: SQA)を導入し、各アニーリングパラメータの強度をスピンの更新回数に対して線形に変化させるスケジュール(forward annealing)を用いて求解を行ってきた[3]。今回は、reverse annealing スケジュール[4]を用いて演算を行い、その演算特性を検討した。

今回の計算機実験では、2D イジングマシンエミュレータに SQA を実装し、組合せ最適化問題を検討した。ここでは、 $32 \times 32 = 1,024$ スピン(= Size 32)の 2D イジングスピンモデルを用いて、組合せ最適化問題の一つである最大カット問題を解いた。今回は、反強磁性的なスピン配列である checkerboard 状態を最適解と設定し、演算を実行した。アニーリングのスケジュールはスピンの更新回数に対して、線形スケジュールと reverse annealing スケジュールを用いた。図 1(a)は、reverse annealing スケジュールを示し、イジングハミルトニアン(古典項) Λ をスピンの更新回数と共に減少させ、一度固定し、再び増加させるスケジュールを設定した。また、横磁場項の強度(量子項) Γ は、 Λ と逆の振る舞いを設定した。図 1(b)は、Size 32 において、線形スケジュールと reverse annealing スケジュールで演算を行った結果の residual energy を示す。これより、reverse annealing スケジュールを用いることで、線形スケジュールでの演算と同様にエネルギーが収束していく様子が確認された。以上より、SQA での適切なスケジューリングが効率的な解探索に重要であることが示唆された。

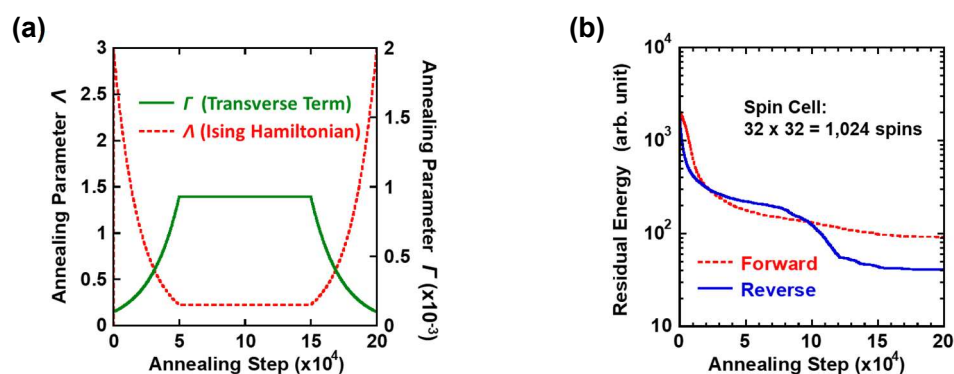


Fig. 1 (a) Reverse annealing schedule for SQA. (b) Dependence of residual energy on annealing step for SQA with linear and reverse annealing schedules in problem size of 32×32 .

References

- [1] V.S. Denchev et al., Phys. Rev. X 6 (2016) 031015.
- [2] B. Heim, T. F. Rønnow, S. V. Isakov, and M. Troyer, Science 348 (2015) 215.
- [3] 島田、伊藤、平田、三木、白樫: 第 66 回応用物理学会春季学術講演会 12a-W934-6 (2019).
- [4] A.D. King et al., Nature 560 (2018) 456.