

トポロジーの異なる量子アニーリングマシンにおける 組合せ最適化問題の演算性能

Computational Properties of Quantum Annealing Machines with Different Topologies

東京農工大 [○]米田優里、島田萌絵、三木司、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

[○]Y. Yoneda, M. Shimada, T. Miki, and J. Shirakashi

E-mail: s171692q@st.go.tuat.ac.jp

近年、組合せ最適化問題を効率的に解く計算機として量子効果を利用した量子アニーリングマシン[1]が注目されている。量子アニーリングマシンは D-Wave 社が実用化しており、2017 年に公開された「D-Wave 2000Q」に続いて、2020 年 9 月には次世代機として「Advantage」が登場し、クラウド経由で利用することが可能となっている[2]。Advantage には 5000 超の量子ビットが実装されており、従来の D-Wave 2000Q の 2048 量子ビットに対して大幅に増加している。さらに、Advantage は QPU (Quantum Processing Unit) のトポロジーに関しても強化されており、従来のキメラトポロジーに代わってペガサストポロジーが組み込まれ、量子ビットの接続数が 6 から 15 に増加している[3]。古典的最適化手法を用いたシミュレーションでの研究によると、ペガサストポロジーはビット間の接続数の増加に対して演算精度を落とさずに量子ビットの数を減らせるため[3]、Advantage 上でより大規模な問題を扱えると考えられる。今回は、実際に Advantage と D-Wave 2000Q を用いて組合せ最適化問題を解き、その演算性能を比較、検討した。

本実験では、D-Wave Leap で公開されている量子アニーリング用の QPU を使用して演算を行った[2]。図 1 に、量子アニーリングマシンを用いた組合せ最適化問題の求解フローを示す。はじめに、組合せ最適化問題を QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization) 問題として定式化する[4]。作成した QUBO から、D-Wave が提供する Ocean を用いてそれぞれの QPU トポロジーにマイナー埋め込み[5]を行う。次に、API を通して量子アニーリングマシンにアクセスし、基底状態探索を行う。最後に、量子ビットの状態を読み取って解が出力される。このシステムを用いて、組合せ最適化問題の一つである Max-Cut 問題を Advantage と D-Wave 2000Q のそれぞれで解いた。同サイズの Max-Cut 問題をそれぞれの QPU 上に埋め込んだ結果、使用された量子ビットの数が Advantage では D-Wave 2000Q の約 1/2 に抑えられていることが確認できた。さらに、Advantage と D-Wave 2000Q を用いてエッジ密度の異なる問題に対して検討したところ、問題の疎密によってペガサストポロジーとキメラトポロジーのそれぞれで演算精度に優位性が見られた。以上より、量子アニーリングマシンを用いた組合せ最適化問題の求解において、Advantage と D-Wave 2000Q を問題の特性に応じて使い分けることでより高い演算精度が得られることが示唆された。

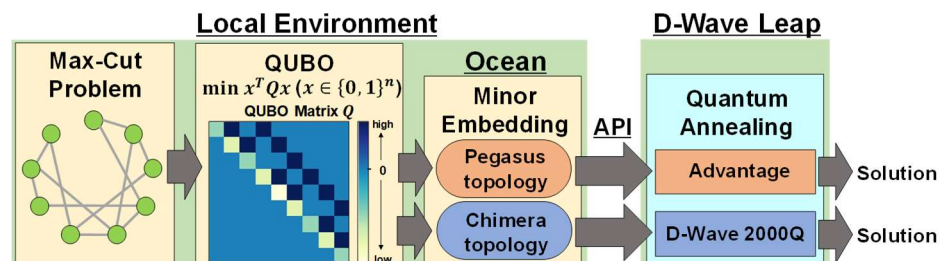


Fig. 1 System flow of solving combinatorial optimization problem using quantum annealing machines.

References

- [1] M. W. Johnson et al., Nature 473 (2011) 194.
- [2] Dwave leap. <https://www.dwavesys.com/home>. Accessed on 22 December 2020.
- [3] K. Boothby, P. Bunyk, J. Raymond, and A. Roy, Technical Report 14-1026A-C, D-Wave Systems (2019).
- [4] A. Lucas, Front. Phys. 2 (2014) 5.
- [5] J. Cai, W. G. Macready, and A. Roy, arXiv: 1406.2741 (2014).