

量子アニーリングを用いた組合わせ最適化問題 ～大規模多目的組合わせ最適化問題へ向けたアルゴリズムの拡張～

そ の 他

岡山理科大学 情報理工学部
李 天鎬、松田 和幸、川島 正行

キーワード：
量子アニーリング、大規模多目的組合わせ最適化問題

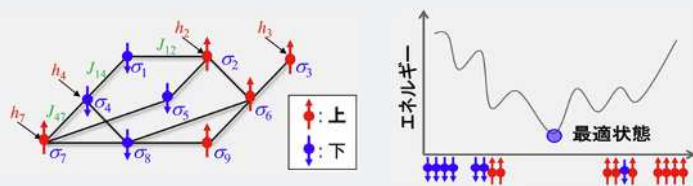


住所：岡山市北区理大町1-1
☎：086-256-9646
✉：leech@ous.ac.jp
URL：researchmap.jp/leech

研究内容：

量子アニーリング (QA)

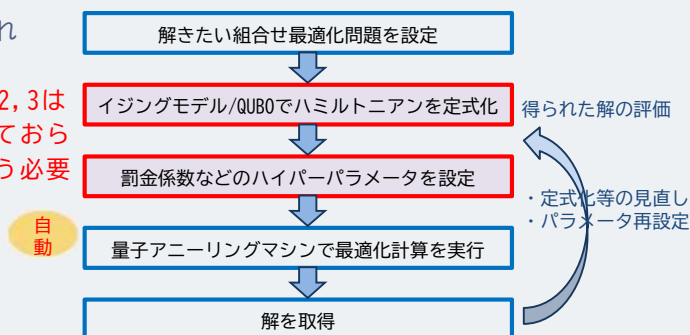
- ・ 組合せ最適化問題を解くことに特化した手法
- ・ 量子効果（重ね合わせの原理など）を利用したメタヒューリスティックな最適化手法
- ・ イジングモデルの基底状態（最低エネルギー状態）を求める問題として、QUBO（2次制約なし最適化）形式に定式化



イジングモデル（提供：株式会社日立製作所研究開発グループ）

・ 求解の流れ

現状、Step2,3は自動化されておらず手で行う必要がある



高次不等式のQUBO変換

- ・ 補助変数 (z_k) を導入して次数を2次元まで落とす

$$\text{例: } \prod_{i=1}^3 (1 - q_i) = z_1 (1 - q_3)$$

$$\text{where } z_1 = (1 - q_1)(1 - q_2)$$

追加した補助変数との関係式

$$H_c = A + Bq_1 + Cq_2 + Dz_1$$

$$+ Eq_1q_2 + Fq_1z_1 + Gq_2z_1$$

$$\Rightarrow H = z_1(1 - q_3) + 1 - q_1 - q_2 - z_1 + q_1q_2 + 2q_1z_1 + 2q_2z_1$$

- ・ 補助変数 (a_k) を導入して不等式制約を満たすときだけエネルギーが0になるようにする

$$\text{例: } \sum_i q_i \leq 1$$

$$\Rightarrow H = \left(\sum_i q_i - \sum_{k=0}^1 ka_k \right)^2 + \left(\sum_{k=0}^1 a_k - 1 \right)^2$$

q_1	q_2	z_1	$(1-q_1)(1-q_2)$	H_c
0	0	0	1	A
0	0	1	1	A+D
0	1	0	0	A+C
0	1	1	0	A+C+D+G
1	0	0	0	A+B
1	0	1	0	A+B+D+F
1	1	0	0	A+B+C+E
1	1	1	0	A+B+C+D+E+F+G

$\sum q_i$	a_0	a_1	H
0	1	0	0
1	0	1	0
2	0	1	1
3	0	1	4

評価指標

- ・ 少なくとも1回正しい解が求まるまでに要する時間

$$\text{Time-To-Solution } TTS = \frac{\log(1 - P_d)}{\log(1 - P_s)} \times \tau$$

where τ : 1回あたりのアニーリング時間
 P_s : 正しい解が得られる確率
 P_d : 要求精度 (0.99)

時間割作成のデモ

67科目、29教員、13条件
従来手法 (SA) と比べて
約8倍の高速化を達成

研究の目的・背景：

組合せ最適化問題では、一般的に、問題の規模（例：説明変数や制約の数）が大きくなると、計算時間が長くなり、解の質が低下するという課題がある。これに対し、量子アニーリングは、従来のアルゴリズムと比べて、高品質な解を短時間で見つけることができるとされ、複雑な最適化問題に対する強力な解決手段として注目されている。

しかし、現実世界の多くの最適化問題は、多目的組合せ最適化問題として現れるため、単一関数で表されるエネルギー最小化を通じて解を求めるといった設計上、量子アニーリングの実問題への活用範囲は限られている。また、量子ビットの接続性などハードウェア制約による問題規模の制限も無視できない。本研究では、大規模な多目的組合せ最適化問題へ適用可能な量子アニーリング手法の拡張を試みる。

一般的に、量子アニーリングを用いて解を求める際には、最適化問題の目的と制約をQUBO（2次制約なし最適化）形式に定式化する必要がある。本展示では、特に高次不等式制約に対するQUBO変換手法を紹介し、時間割作成の例を用いてデモを見せる。

期待される効果・応用分野：

組合せの規模が大きく複雑な制約がからむ問題に対しても、量子コンピュータの特性上、従来のコンピュータで処理するアルゴリズムと比べて、高速に近似解を探索することが可能である。

物流・配送におけるルート最適化、スケジューリング・シフト最適化、交通信号制御・都市計画、エネルギー管理など、様々な分野での応用が期待されており、業界全体の生産性や効率が向上し、コスト削減や時間短縮に貢献する。

アピールポイント：

- ・ 分野を問わず、実社会で起きている組合せ最適化問題の近似解を高速に計算できる
- ・ 時間割作成問題の例を紹介する
- ・ 発表論文

[1] K. Thonlek, C. Lee, et al. "A Quantum Annealing-Based Approach for Solving Talent Scheduling" ACDSA, 2024.

[2] 松田 李, 川島 正行, 量子アニーリングを用いたグラフ彩色問題による時間割編成, xSIG, 2024.

- ・ 共同研究先
 - ・ 株式会社ソリッド（太陽光パネル設置）
 - ・ キリンググループロジスティクス（物流・配送）

つながりたい分野：

- ・ 本研究発表会へお越しのみなさん
- ・ 分野問わず組合せ最適化問題をお持ちの方
- ・ 計算量が大きすぎて計算資源にお困りの方



岡山理科大学

