

2023年11月9日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

量子アニーリングの効率的な最適化手法を開発

数理最適化アルゴリズムとの組み合わせで最大3.7倍の高速化を確認

【発表のポイント】

- 量子力学の現象を利用した最適化手法である量子アニーリング^(注1)と列生成法^(注2)という数理最適化アルゴリズムを組み合わせた効率的な最適化手法を考案しました。
- 量子アニーリングを利用した解法では制約条件を満たすことが難しいなど、産業利用に向けてのいくつかの課題が残されていました。
- 列生成法を組み合わせた量子アニーリングで実用的な制約条件を満たすことが可能となり、また計算時間の観点でも非常に効率よく問題を解くことができるようになりました。

【概要】

東北大学大学院情報科学研究科大関真之教授らの研究グループは、組合せ最適化問題について課題とされてきていた制約ありの二次計画問題を解く際に長い計算時間がかかる問題を解決する手段として、列生成法と量子アニーリングマシンを組み合わせたアルゴリズムを提案し、その効果を検証しました。

本研究の成果によって、実社会に登場するような倉庫配置の最適化や工場での製造工程の順序の最適化、勤務シフトのスケジュール問題など様々な組合せ最適化問題をより高速に解くことが期待されます。

本研究成果は、2023年10月20日に日本物理学会の英文誌 Journal of Physical Society of Japan に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

組合せ最適化問題は、様々なある組み合わせの中から最良の選択肢を選ぶ問題となっており、この問題を解くことは数学的に非常に難しくコンピュータを利用した効率的な解法を駆使しても、計算時間がかかるという問題があります。量子アニーリングはそうした組合せ最適化問題の解法として提案され、研究が進められています。

しかし量子アニーリングは、その特性上、産業応用に必要な要請を反映した制約条件を満たすということが難しいという問題がありました。そこで大関率いる研究グループは列生成法と呼ばれるアルゴリズムを量子アニーリングと合わせて利用することで、最適化問題を分解して小さな問題を繰り返し解き制約条件を満たした現実の問題に有用な形で最終的な解を得る新しいアルゴリズムを提案しました。

今回の取り組み

今回の研究におけるポイントは列生成法の計算の一部に量子アニーリングが得意とする特殊な問題形式が含まれていることにあります。先行研究ではその計算に時間がかかっており、そのために全体の計算時間が長くなってしまいう問題が残されていました。その問題を解決するために量子アニーリングが有効であることを着想し、計算時間を飛躍的に短縮することに成功しました。

本手法を用いた量子アニーリングマシンでの実験は、最大で 3.7 倍の高速化が認められました。さらに量子アニーリングマシンだけではなく、既存のコンピュータにおける量子アニーリングのシミュレーション技法にも本手法は適用可能で、類似した手法であるシミュレーテッドアニーリング^(注3)については 1000 倍の速さで答えを求めることができるようになりました。このように本手法の発見は、量子アニーリングおよび広く関連技術の計算性能を大幅に向上する画期的な成果です。

今後の展開

本研究の成果によって、配送や製造工程の最適化など、産業の社会課題を効率よく解決することが期待できます。今後は、量子ソリューション拠点として認定された東北大学として、共同研究などを通じて我々の提案手法を活用し様々な産業の課題を解決し社会に還元していきます。

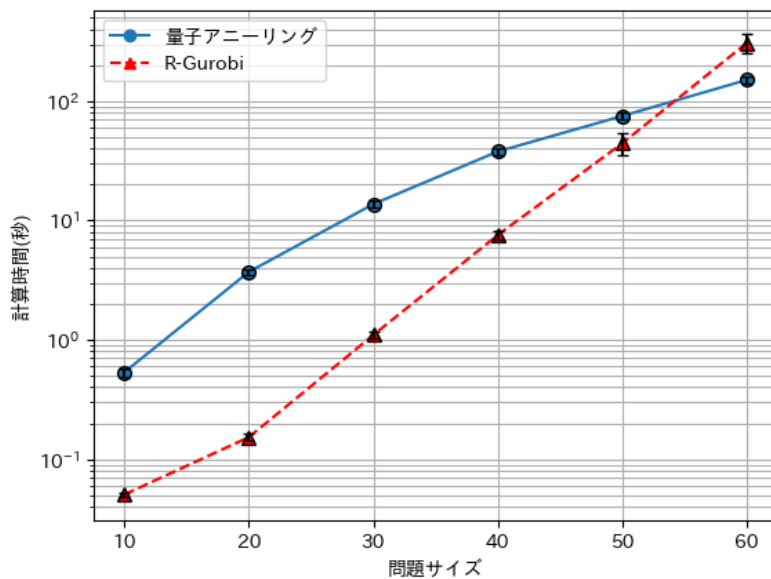


図 1. データの大きさに対する計算時間を求めたグラフ。R-Gurobi=既存の商用高速ソルバーを用いた例、量子アニーリング=我々の提案手法に量子アニーリングマシンを用いたものでデータサイズが大きな場合に提案手法が既存手法よりも短い時間で計算を終えることを確認しました。

【謝辞】

本研究は日本学術振興会科研費（課題番号：JP23H01432）および、文部科学省「光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）人材育成プログラム【独創的サブプログラム】実践的研究開発による全国的量子ネイティブの育成」（JPMXS0120352009）、内閣府「官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）「量子技術領域」：量子アプリ開発を支援する民間研究開発環境の整備」、内閣府「研究開発と Society 5.0 との橋渡しプログラム（BRIDGE）：量子プロダクト事業化推進プラットフォーム構築事業」の支援を受けて実施されたものです。

【用語説明】

注1. 量子アニーリング

極低温において、原子や分子などの非常に小さいスケールでは、結果が確率的に変動する「量子揺らぎ」が存在します。これを利用して揺らすことでひっきりなしに安定した配置へ誘導する量子アニーリングと呼ばれる技術が1998年に東京工業大学の当時大学院生であった門脇正史氏（現：デンソー株式会社）、西森秀稔名誉教授から提案されました。カナダのベンチャー企業である D-Wave Systems 社が量子アニーリングの原理に従ったコンピュータを製作して販売をしています。原子や分子の振る舞いを調べる量子シミュレーションや、様々な可能性の中で最も良い回答を探索する最適化問題、人工知能の基盤技術となる機械学習への応用などが注目され

ています。この量子アニーリングでは、量子揺らぎにより、デジタル信号処理における0と1の重ね合わせ状態を作ることができます。この重ね合わせを巧みに利用することで、どちらの状態にあるのが最も相応しいのか、組合せ最適化問題における解答を探索することができます。

注2. 列生成法

組合せ最適化問題のうち制約条件と呼ばれる問題固有のルールについて、必要な条件を割り出して効率的に計算を進める方法です。

注3. シミュレーテッドアニーリング

量子アニーリングと同様に組み合わせ最適化問題を解くアルゴリズムです。量子アニーリングでは、0と1の重ね合わせ状態を利用して、どちらにあるのが相応しいのかを探索します。シミュレーテッドアニーリングでは、それを高頻度で切り替えて、どちらが良いのかを判定していきます。この繰り返しによって、求めたい最適化問題の解を求めることができます。

【論文情報】

タイトル : Efficient Algorithm for Binary Quadratic Problem by Column Generation and Quantum Annealing

著者 : Sota Hirama, and Masayuki Ohzeki*

*責任著者 : 東北大学大学院情報科学研究科 教授 大関真之

掲載誌 : 日本物理学会英文雑誌(Journal of Physical Society of Japan)

DOI : [10.7566/JPSJ.92.113002](https://doi.org/10.7566/JPSJ.92.113002)

URL : <https://journals.jps.jp/doi/10.7566/JPSJ.92.113002>

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学大学院情報科学研究科

教授 大関 真之

E-Mail : mohzeki@tohoku.ac.jp

TEL: 022-795-5899

（報道に関すること）

東北大学大学院情報科学研究科

広報室 鹿野 絵里

TEL: 022-795-4529

Email: koho@is.tohoku.ac.jp