

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17747

研究課題名（和文）Applications of Large-scale Real-world Geospatial Optimization Problems Using Ising Machines

研究課題名（英文）Applications of Large-scale Real-world Geospatial Optimization Problems Using Ising Machines

研究代表者

鮑 思雅（BAO, SIYA）

早稲田大学・理工学術院・講師（任期付）

研究者番号：60875425

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：複数の実地理空間情報処理問題において、実用上重要な要素をイジングモデルと等価なQuadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO) に変換し、実イジング計算機による解法を提案した。イジング計算を地理情報システムに応用する研究分野において多数の成果を上げており、IEEE論文誌や地理情報処理分野のトップ国際会議での発表など、非常に多くの論文発表を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

古典計算機に比べ2桁以上高速に解法されることは、これまで古典計算機で実時間処理不可能であった現実的な組合せ最適化問題の実時間化が見通せる。また、本研究の拡張により交通管理など様々な社会課題の解決が可能となる。

研究成果の概要（英文）：We focused on the application for next-generation geographical information processing using Ising-based computing technologies. We have published several papers on IEEE transactions and the flagship conference ITSC by the IEEE ITS Society.

研究分野：量子計算

キーワード：量子計算 地理空間情報処理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) 地理空間情報処理の活用事例としては、多地点最適経路探索、最適人車配置、旅行最適化、物流最適化や交通流最適化などがあり、どちらも人々の暮らしの一環として不可欠なものになる地理空間における最適化問題は組合せ最適化問題として解くことがよく知られている。
- (2) 一方で、組合せ最適化問題を効率よく解法するイジング計算機が注目されている。しかし、既存のイジング計算機が対象とした組合せ最適化問題の多くは、グラフ最大カット問題や単純な巡回セールスマン問題であり、配送ルート最適化問題のような実地理空間情報処理問題の解法例はほぼないのが現状である。また、現状のイジングマシンはハードウェアの制約により入力できる問題サイズにも制限があり、配送先と配送車両が多い場合、配送ルートの選択肢が膨大になり、現状のイジングマシンでは大規模な配送問題を直接解法することは非常に困難であった。

## 2. 研究の目的

- (1) イジング計算技術の社会課題への改善・解決は世界的な研究の競争の中、今後期待される最重要トピックスの一つである。本研究の拡張により、位置情報と判断に基づく交通管理など様々な社会課題の解決を目指す。
- (2) イジング計算機は、古典計算機とは異なる性質を持つ。したがって、古典計算機で達成できなかった計算能力が実現可能である。実イジング計算機で最適性を失わずに効率よく解法し、古典計算機に比べ2桁以上高速に解法することを目指す。

## 3. 研究の方法

- (1) 本研究では、複数の実地理空間情報処理問題において、実用上重要な要素をイジングモデルと等価な Quadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO) に変換し、実イジング計算機による解法を提案した。
- (2) 大規模な配送最適化問題を2段階あるいは3段階に分割して実イジング計算機による解法を提案した。

## 4. 研究成果

イジング計算を地理情報システムに応用する研究分野において多数の成果を上げて、IEEE いる。論文誌や地理情報処理分野のトップ国際会議 (IEEE Intelligent Transportation Systems Conference) での発表など、非常に多くの論文発表を行っている。招待講演など積極的な成果発信も合わせて行った。

主な研究成果が下記の2点が挙げられる。

- (1) 複数の集積所を持つ容量制約付き配送計画問題の実イジング計算機による評価した。
- (2) 複数日にまたがる旅行計画問題の実イジング計算機による評価した。

さらに、(1)については3段階に分割することで、必要な変数を削減し、実イジング計算機で効率よく解法することができる。古典計算機との比較結果により、実イジング計算機で最適性を失わずに効率よく解法することが確認した。(2)については複数日旅程最適化問題が、古典計算機に比べ2桁以上高速に解法されることに成功して。これまで古典計算機で実時間処理不可能であった現実的な組合せ最適化問題の実時間化が見通せる。

代表的な研究成果情報：

原著論文：

(1) S. Bao, M. Tawada, S. Tanaka and N. Togawa. “An Ising-machine-based solver of vehicle routing problem with balanced pick-up.” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 70, iss. 1, pp. 445-459, 2024.2.

国際発表：

(2) S. Bao, and N. Togawa. “Multi-day intermodal travel planning for urban cities using Ising machines.” in Proceedings of *IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, pp. 54-60, 2023.9.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Bao Siya, Tawada Masashi, Tanaka Shu, Togawa Nozomu	4. 巻 70
2. 論文標題 An Ising-Machine-Based Solver of Vehicle Routing Problem With Balanced Pick-Up	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 445 ~ 459
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TCE.2023.3335392	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 鮑 思雅
2. 発表標題 A quantum computing-based optimization method for multi-day travel recommendation
3. 学会等名 International Network on Quantum Annealing Seminar（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鮑 思雅
2. 発表標題 イジングマシンによる複数日にまたがる旅程最適化
3. 学会等名 第92回高度交通システムとスマートコミュニティ研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野口竜弥
2. 発表標題 部分QUBOアニーリングによる複数日旅程最適化問題の解法
3. 学会等名 第92回高度交通システムとスマートコミュニティ研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鮑 思雅
2. 発表標題 イジングマシンを用いた複数日にまたがる観光地選出手法
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Bao Siya
2. 発表標題 Multi-Day Intermodal Travel Planning for Urban Cities Using Ising Machines
3. 学会等名 2023 IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Siya Bao, Togawa Nozomu	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Springer Cham	5. 総ページ数 933
3. 書名 Machine Learning for Indoor Localization and Navigation	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関