

量子アニーリングによる配電応需計画の最適化

組合せ最適化問題に対する有効性を検証

Optimization of Scheduling Task for Distribution-Facility Maintenance Job using Quantum Annealing Evaluation of Effectiveness for Combinatorial Optimization Problems

(先端技術応用研究所 情報通信G)

次世代コンピューティング技術として、量子力学に基づく量子コンピュータの研究開発が急速に進展している。その一連の技術の中で組合せ最適化問題に特化した「量子アニーリング」と呼ばれる手法が提案され、実社会の問題に対する適用が検討され始めている。本研究では配電分野の応需計画の最適化に量子アニーリングを適用し、当該手法の有効性検証を行った。

(Information & Communication Technology Group, Advanced Research & Innovation Center)

As the next computing technologies, research and development for quantum computing is progressed rapidly. In a series of the technologies, quantum annealing method is known as a promising solution for combinatorial optimization problems. This article describes an evaluation results on optimization of scheduling task for distribution-facility maintenance job using quantum annealing.

1 研究の背景と目的

量子コンピュータとは、量子力学に基づく物理現象を応用した次世代のコンピューティング技術である。量子コンピュータでは、デジタル回路の0と1を一つの素子で同時に表現する「重ね合わせ状態」（量子ビット）を作ることによって、ある種の並列計算を実現しており、従来のデジタル回路と比較して桁違いに高速な演算が可能である。しかし、汎用的な量子ゲート方式は物理的実装の困難さから、現時点では未だ計算パワーの可能性の一端を示す程度に留まっている。一方、この派生技術として「組合せ最適化問題」に特化した量子アニーリング（Quantum Annealing）と呼ばれる方式が提案され、そのハードウェア実装が商用化されたことから、当該技術が俄かに注目を集めるようになった。このような背景の下、本研究では、量子アニーリングを配電の応需計画に適用し、電力分野の組合せ最適化問題に対する有効性を検証する。

2 量子アニーリングの概要

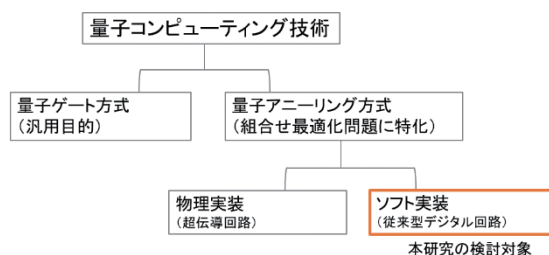
今回検討対象とする組合せ最適化問題とは、N個の変数と何らかの最適化基準（例えば、複数人の共同作業における作業時間の短縮など）がある場合、膨大な数の組合せの中から、最も効率的な解を探索する数理的な問題である。一般にNが大きくなるにしたがい、組合せの数が爆発的に増大し、現実的な処理時間内で有効な解を求めることが困難になることが知られている。また、複数候補の中から求めた解が真に最適かどうかは必ずしも保証されない。

このような問題を解くための手法として、アニーリング（焼きなまし）と呼ばれるアルゴリズムが知られている。例えば、金属の精錬では、熱を入れてエネルギーの高い状態から徐々に冷却し、温度がゼロ（エネルギー最

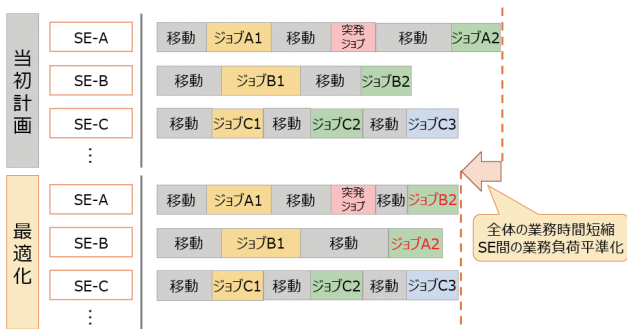
小）の時に安定した金属組成を得ることができる。このような原理を模擬して最適解を探索する仕組みを量子の物理現象で実現したのが量子アニーリングである。同手法では、対象問題を「最適化基準」と「制約条件」によって、ある種のエネルギー状態を表現し、この状態に量子的な揺らぎ（磁場）を与え、ランダムな状態から徐々に安定した状態へ遷移させることによって最適解を求める。量子アニーリングには、超伝導回路などを用いて物理的なハードウェアを実現する方式と、従来型アーキテクチャでソフト的なシミュレーションにより実現する方式がある（第1図）。本研究では、ノイズなど外乱の影響に強く、量子ビット数を多くすることが可能な後者の方式を用いた。

3 問題設定

本研究では、電力分野における組合せ最適化問題の例として配電の応需計画を対象とする。応需計画とは、作業担当者（サービスエンジニア：SE）が設備保守のために現場出向する際のスケジュールリングを最適化するタスクである（第2図）。当該タスクでは、営業所の運営管理者が日々のジョブと要員数を勘案してスケジュールを作成しているが、訪問順序やジョブの分担の組合せは必ずしも自明ではなく、スケジュールリングの最適化が自動で実現できれば有用性が高い。ここで、最適化基準としては、全体の業務時間短縮やSE間での業務負荷平準化などが挙げられる。



第1図 量子アニーリング技術の位置付け



第2図 応需計画の最適化のイメージ

4 最適化基準と制約条件

今回は初期検討のため「全体の業務時間短縮」のみを最適化基準とした。対象問題では、以下の6つの制約条件を満たす必要がある。

1. 各ジョブは1度だけ実施される。
2. 各SEはジョブの開始から完了まで他のジョブを実行できない。
3. 各SEは移動中に他のジョブを実行できない。
4. 各ジョブは実行可能時間以外で実施できない。
5. 最初のジョブを出社と定義し、各作業者は所定時刻に業務を開始する。
6. 最後のジョブを帰社と定義し、各作業者はどこかの時刻で帰社し、その後ジョブを実行できない。

量子アニーリングの実行に際しては、上記最適化基準と制約条件を数理モデルで表現し、システムが扱える形式 (QUBO) に変換する。

5 評価検証

本研究では量子アニーリングのソフトウェア実装として富士通(株)が開発したデジタルアニーラ (Digital Annealer: DA) を用いた。DAは専用ハードウェア (従来型アーキテクチャ) で量子アニーリングのソフト的なシミュレータを動作させる構成になっている。DAでは、量子ビット数が物理実装 (2千程度) より多く (8千程度)、安定した演算処理を行うことができる。

評価検証では、都市部の営業所1箇所から収集した1日分の作業実績の一部 (電子データで抽出できたジョブ40件) と作業車両の運行記録に基づきテストデータ (ジョブリスト、稼働人員、訪問地点、移動時間、作業時間) を作成した。また、業務途上で発生する停電対応などの「突発ジョブ」によるリスケジューリングの実現性を検証するため、午後の業務開始時に突発ジョブ1件の発生を設定した。

第1表 最適化結果と従来型アーキテクチャとの比較

	最適化結果		
	業務完了時間	DA求解時間 (秒)	Gurobi求解時間 (秒)
SE数: 6人	17:00	5	12
SE数: 5人	17:00	35	120
SE数: 4人	17:40	857	(解得られず)

第2表 突発ジョブが追加された場合の最適化結果

	最適化結果		
	業務完了時間	DA求解時間 (秒)	Gurobi求解時間 (秒)
SE数: 5人	17:00	35	120
SE数: 5人+突発ジョブ	17:00	35+16	120+19

実験では、このテストデータに基づきDAで応需計画のスケジューリング最適化を行った。また、比較のため従来型アーキテクチャ上 (Intel Xeon E5-2680 2.7GHz 32core、メモリ200GBのPC) で既存の最適化アルゴリズムを実装した商用ソフトGurobi Optimizerを用い、同一タスクを実行した。評価結果を第1表、第2表に示す。

まず業務完了時間に着目すると、第1表より、SE数5人以上の場合において17:00で全てのジョブが完了という結果が得られた。なお、実際の応需計画では今回テストデータに反映できなかった紙帳票のジョブがあり、人間系による作業実績 (業務完了時間) を同一条件で計測できなかった。このため、人間系実績との直接的な比較はできないが、DAによる効率的なスケジューリングの実現性が確認された。

次に求解時間に着目すると、第1表より、SE数4～6人の場合においてDAのGurobiに対する優位性が確認された。SE数4人の場合、DAでは計算に時間を要したが最終的に解を得ることができたのに対し、Gurobiでは有効な解を得ることができなかった。

また、第2表より、SE数5人で突発ジョブが追加された場合についても、DAではGurobiよりも高速に1.5倍程度の時間増で対応できており、業務途上のリスケジューリングの実現性が確認された。

6 まとめと今後の展開

本研究では、量子アニーリング技術を配電の応需計画に適用し、全体の業務時間短縮を最適化基準としたスケジューリングの実現性を確認した。今後の展開であるが、SE間の業務負荷平準化や突発ジョブに対するタイムリーな対応など条件設定を詳細化し、大規模データでの検証を進めていく予定である。



執筆/瀬川 修・難波隆博