

量子アニーリングマシンを使用したスケジューリング問題ソルバーの開発

1. 背景

スケジューリング問題は、多くのジョブを種々の制約条件のもとで実行しなければならないときに、実行可能なスケジュールや、最適なスケジュールを探索する問題である。世の中の多くの重要な問題がスケジューリング問題として定式化できる。例えば、工場の最適作業工程の作成、航空会社・鉄道会社などの運転手・搭乗員の最適勤務表作成、看護師等の最適シフト勤務表作成、配食事業における最適献立スケジュールの作成、通信ネットワークにおけるパケット・スケジューリングの決定、学校等における最適時間割作成、計算機システムにおける最適スケジュール、P2P ネットワークにおけるコンテンツ配送最適スケジュール等、スケジューリング問題として定式化される問題は非常に幅広く、社会的・技術的に重要な問題が多い。しかしながら、多くのスケジューリング問題が問題規模の多項式オーダーの計算量で解けることが保証されないNP困難であることが証明されている。このような問題では、高性能なノイマン型コンピュータを使って現実的な大きさのスケジューリング問題の最適解を求めようとするとう実用的な時間で解くことができないことがある。

2. 目的

本プロジェクトの目的は、現実的な大きさのスケジューリング問題を、実用的な時間で解くために、アニーリングマシンを使用したスケジューリング問題ソルバーを開発することである。開発したソルバーを組み込んだシステムをユーザーに提供することにより、スケジューリング問題の最適解、あるいは、最適解に近い準最適解をユーザーが容易に得ることが出来るようになる。このことにより、効率化、省エネルギー化、コスト削減等が進むことが期待出来る。

3. ソフトウェア開発内容

組合せ最適化問題の中で特にスケジューリング問題を取り上げ、スケジューリング問題にアニーリング技術を適用するためのソルバー開発を行った。組合せ最適化問題の中でも特にスケジューリング問題は一般的に制約条件の数が多くなるという特徴があり、扱える問題規模は決定変数の数で決まる。決定変数の数が多くなると、解くために用いるアニーリングマシンのビット数はより多く必要となる。また、より質の良い解を得るには、余分な決定変数を少しでも減らすことが重要である。そのため、本プロジェクトでは一般的なスケジューリング問題に対応する変数削減の枝刈り(variable pruning)手法の開発と実装を行った。

開発の対象とするスケジューリング問題として以下の3つを設定した。

- 1). センサネットワークにおける TDMA スケジューリング問題 (TDMASP, TDMA scheduling problem)
- 2). ジョブショップスケジューリング問題 (JSP, Job Shop Scheduling Problem)
- 3). 統合化スケジューリング問題

多くの問題に対応するために上記 2 つのスケジューリング問題を統合したスケジューリング問題を扱えるソルバーの開発を 3 番目の課題として設定した。

次にプロジェクト成果の一例として、作成したソルバーにより計算した TDMASP の計算結果を図 1 に示し、左上から右下に $t=1, \dots, 8$ におけるパケット送信の様子を示す。赤色のエッジがパケット送信を示している。

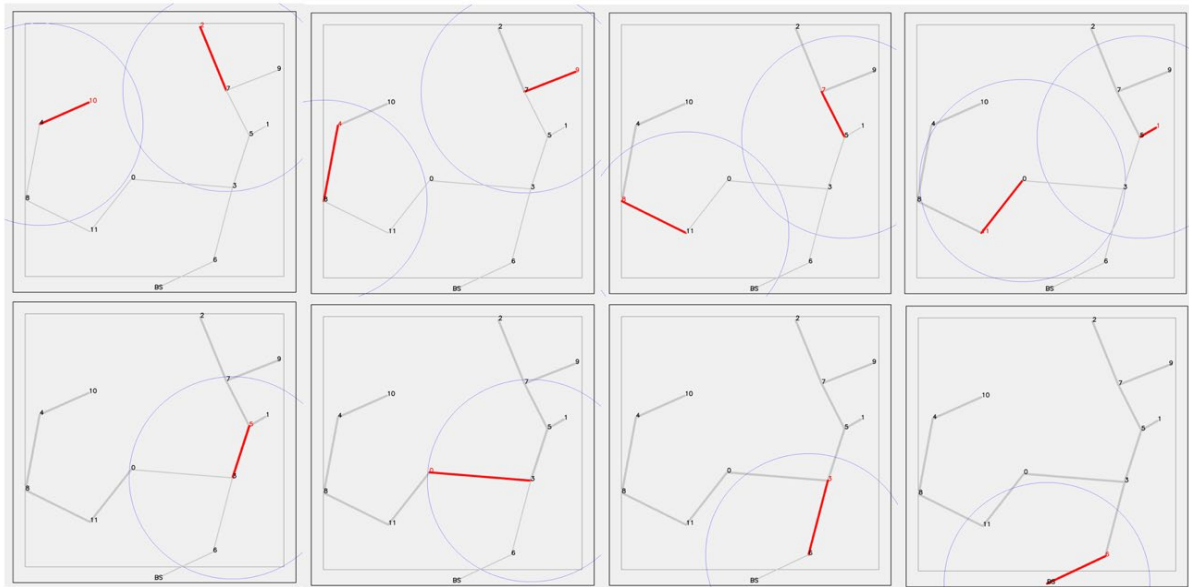


図 1: TDMASP の可視化した計算結果例(ノード数 12)

4. 新規性・優位性

TDMASP をアニーリングマシンを利用して解いたという研究報告は我々の知る限り存在していない。JSP においては、D.Venturelli¹ et. al が存在するが、本プロジェクトでは新たに変数削減の枝刈り手法の考案、開発することができた。そして、TDMASP、JSP を統合に扱うことができる統合化スケジューリング問題ソルバーを開発した。

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

スケジューリング問題における一般的な問題点としては、スケジュールを考える人間の「勘」に頼り、真の最適化ができてないこと、また、長年の「勘」に頼るため急激な環境の変化に対応できないということが考えられる。そして、実際にコンピュータで計算をしようとすると、問題サイズの増加により組合せの数が爆発的増加し計算時間がかかりすぎるといった問題があり、現実には人間の「勘」に頼る以外になかったという面もある。

しかし、近年登場した量子アニーリングマシンを利用することにより、スケジューリング問題を高速に解くことができる可能性がある。スケジューリング問題では制約条件の数が多いため、扱える問題規模は決定変数の数で決まる。決定変数の数が多くなると、その問題

¹ D.Venturelli, D.J.J.Marchand and G.Rojo, “Job shop scheduling solver based on quantum annealing”, arXiv:1506.08479v2, 2016.

を解くのに必要なアニーリングマシンのビット数も多く必要になる。また、より質の良い解を得るには、余分な決定変数を少しでも減らすことが重要である。これらのことから、変数削減の枝刈り手法を開発し適用することが、アニーリングマシンでスケジューリング問題を解く際の重要なポイントとなる。本プロジェクトで開発した変数削減の枝刈り手法による効果を図2に示す。決定変数が4分の1程度に削減可能で、アニーリングマシンを効果的に利用することが可能となる。

最後に、今回のプロジェクトで得られた知見により、今まで解くことが難しいとされていた現実的な大きさのスケジューリング問題を、アニーリングマシンで解決するための第一歩が踏み出せたと信じている。

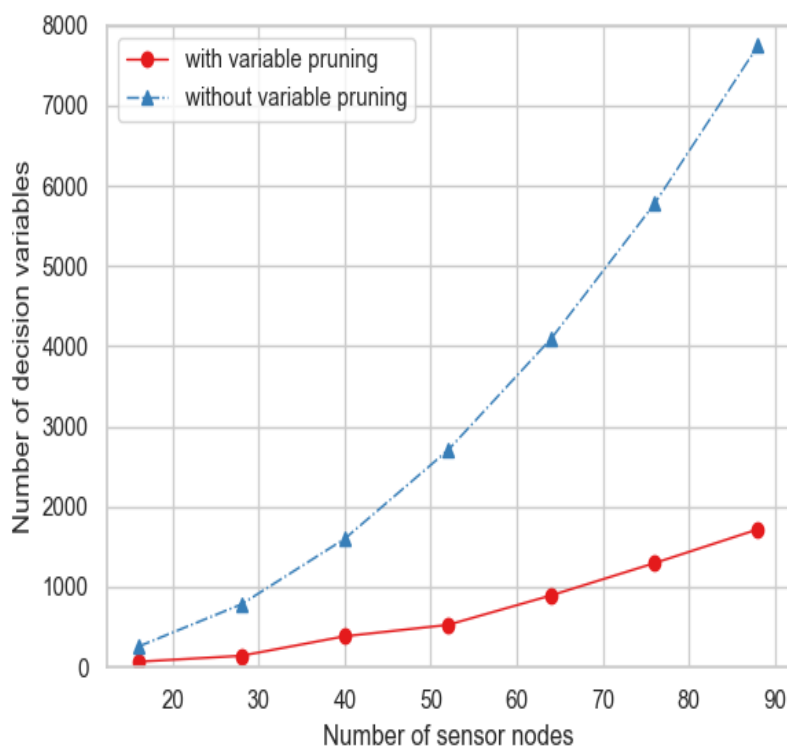


図2: TDMASP 枝刈りによる変数削減効果

6. 氏名

盛川英典(フリーランス)

石崎文雄(フリーランス)