

QUBO問題の高次自動変換による量子ビット数削減技術の開発 —量子ビット・ゲート数削減による組合せ最適化の高速化—

佐野 友貴（横浜国立大学 大学院理工学府）

背景

- 半導体の微細化限界の危惧により、組合せ最適化問題への量子コンピューティング技術の活用が期待
- グローバ最適探索はQUBO（二次二値変数最適化）に加えHUBO（高次二値変数最適化）の最適解を求められる唯一の量子アルゴリズム

目的

組合せ最適化問題の高速な求解を実現する
量子ビット数削減技術の開発

開発成果

- 量子ビット数削減を実行する一般的手法
- 二進数の降順割当によるゲート数削減 (HUBO-DSC)
- 最大次数を半減可能な定式化によるゲート数削減 (HUBO-OR)
- 目的関数を展開せずに量子回路を構成することによるゲート数削減 (HUBO-PF)
- 各手法の量子ビット・ゲート数を代数的に解析
- グラフ彩色問題におけるHUBO変換ツールと量子ビット・ゲート数見積もりツールの開発

QUBO

| インデックス1 | | | インデックス2 | | | インデックス3 | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{31} | x_{32} | x_{33} |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

1ビットのみ1、残りは0

HUBO

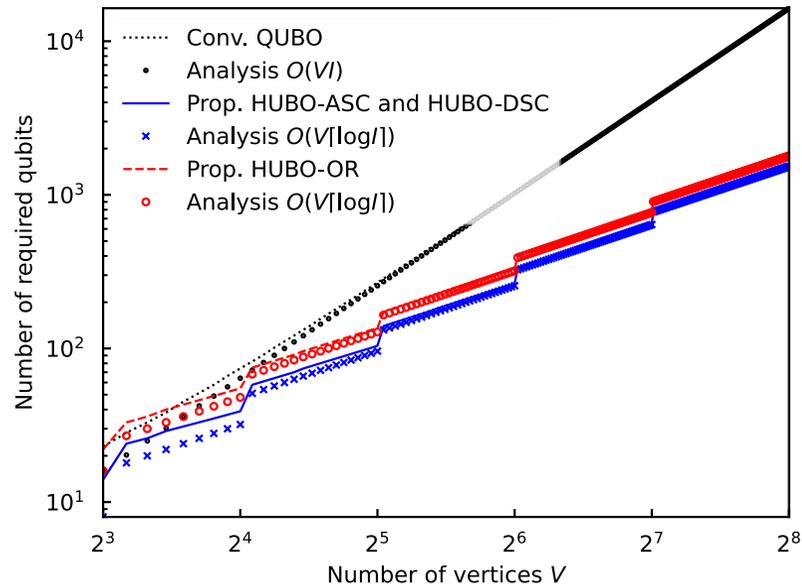
| インデックス1 | | インデックス2 | | インデックス3 | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| x'_{11} | x'_{12} | x'_{21} | x'_{22} | x'_{31} | x'_{32} |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

二進数で表現

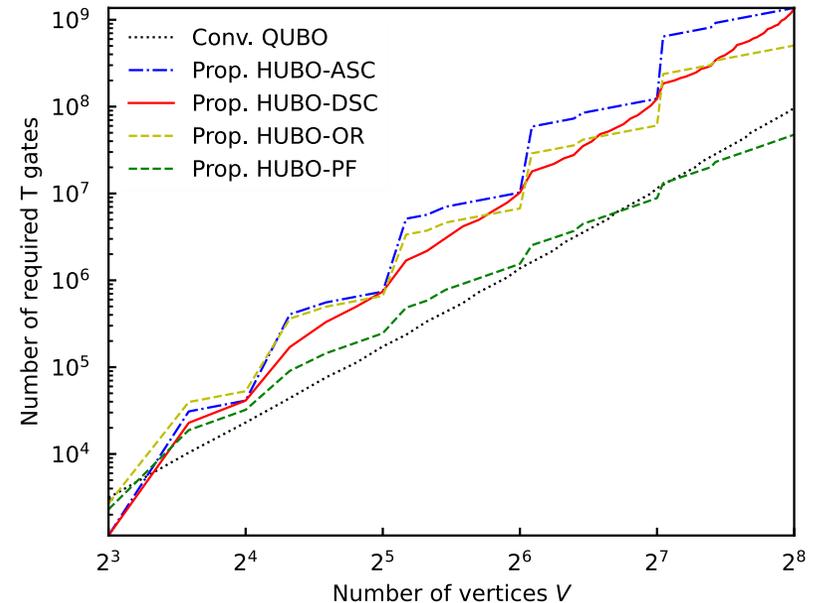
QUBO→HUBOで量子ビット数削減！

数値比較

- 量子ビット数削減技術を用いて量子ビット数を予測した結果
- 各量子ゲート数削減技術を用いてTゲート数を予測した結果
- グローバ最適探索を適用した際の量子ビット数とTゲート数について解析
- グラフ彩色問題を例に比較 (V : 頂点数、 I : 色の数)



量子ビット数の比較



Tゲート数の比較

開発した技術がもたらす効果

- 組合せ最適化問題の探索空間縮小 (量子ビット数削減による)
- 量子演算一回当たりにかかる実行時間を短縮 (量子ゲート数削減による)
- 量子コンピュータ実機への実装のハードル低下 (量子ゲート数削減による)