

量子近似アルゴリズムを用いた頂点彩色問題の求解

立田結希菜 (指導教員：工藤和恵)

1 はじめに

エラーが多く小・中規模な Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) デバイスにおける、最適化のための古典・量子ハイブリッドアルゴリズムのひとつである Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) [1] と呼ばれる方法がある。また、QAOA におけるパラメータの決定方法を機械学習の手法から量子状態の測定結果を利用するように改変した Feedback-Based Quantum Optimization (FALQON) [2] という手法がある。本稿では、これらの手法を用いることで、NP 完全な問題である 3 色以上のグラフ彩色問題における求解性能向上が見られるかどうかを検証した。また、グラフ彩色問題と MAXCUT 問題において成功率や実行にかかる時間を測定し、その結果を比較することで、QAOA および FALQON がより複雑で困難な問題に対し効力を発揮するかの調査を行なった。

1.1 MAXCUT 問題とグラフ頂点彩色問題

MAXCUT 問題は、グラフの頂点を 2 つのグループに分け、それらの間にある辺の重みの合計値が最大になるようなグループ分けを求めるような問題である。グラフ頂点彩色問題は、あらかじめ与えられた K 色を用いて、隣り合う 2 頂点が同じ色を持たないように頂点へ色を割り当てる問題である。そのため、1 頂点あたりの状態を表すのに必要な量子ビット数が、グラフ頂点彩色問題では塗り分ける色の数と等しい。それに対し、MAXCUT 問題では 1 個である。さらに、グラフ頂点彩色問題には、1 つの頂点が必ず 1 色に塗られていなければならないという one-hot 制約も課される。このような点で、グラフ彩色問題は MAXCUT 問題と比べて求解が困難である。

2 アルゴリズム

2.1 問題設定とハミルトニアン

グラフ彩色問題では、隣り合う 2 頂点が同じ色を持たないように頂点への色の割り当てを考える。今回は、彩色数を定めた上で条件を満たすような塗り分けを探索する。以下では、 N 頂点のグラフを K 色で塗り分ける場合について考える。ここで、 E はグラフの辺の集合である。また、以下では頂点 v の色 c についての変数を、添え字 v, c で表す。

以下では、 $X_{v,c}$ は頂点 v 、色 c に対応する量子ビットに X ゲートを作用させる演算子を表している。また、 Y 、 Z においても同様に Y 、 Z ゲートを作用させる演算子を表す。

ここで、駆動ハミルトニアンは次式で与える。

$$H_d = - \sum_{v=0}^{N-1} \sum_{c=0}^{K-1} X_{v,c} \quad (1)$$

最適化の対象となる問題ハミルトニアン H_p は、最適化対象であるコストについての項と制約を表す項からなる。ここで、それぞれの頂点の彩色状態をイジング変数 s ($s \in \{+1, -1\}$) を用いて表す。頂点 v に色 c

が割り当てられる時を $s_{v,c} = -1$ 、割り当てられないときに $s_{v,c} = +1$ のように割り当てる。 $s_{v,c}$ に対応する演算子が $Z_{v,c}$ であり、コスト項は以下のように表せる。

$$H_{\text{cost}} = \sum_{(v_1, v_2) \in E} \sum_{c=0}^{K-1} \frac{1}{4} (Z_{v_1, c} Z_{v_2, c}) \quad (2)$$

また、制約は以下ようになる。

$$H_{\text{const}} = (2-K) \sum_{v=0}^{N-1} \sum_{c=0}^{K-1} Z_{v,c} + \sum_{v=0}^{N-1} \sum_{c_1=0}^{K-2} \sum_{c_2=c_1+1}^{K-1} Z_{v,c_1} Z_{v,c_2} \quad (3)$$

ここで、定数項は最小化の際に無視できるため省略している。以上を足し合わせて、 H_p は以下ようになる。

$$H_p = H_{\text{cost}} + \lambda H_{\text{const}} \quad (4)$$

ここで、 λ は制約の強さを表すパラメータであり、 $\lambda = 0.5$ の時に $H_{\text{cost}} : H_{\text{const}} = 1 : 1$ となるように設定されている。

FALQON ではフィードバックハミルトニアンを $H_f = i[H_d, H_p]$ と定める。 $A(t) = \langle \psi(t) | H_f | \psi(t) \rangle$ となるような $A(t)$ を定義することで、問題ハミルトニアンに関する期待値の微分を $\frac{d}{dt} \langle \psi(t) | H_p | \psi(t) \rangle = A(t)\beta(t)$ と置くことができる。ここで、時刻 t における量子状態を $|\psi(t)\rangle$ と表す。 $A(t)$ を利用することで必ず H_p に対する期待値が減少していくように、 $\beta(t)$ を定めることができる。ここでは、 $\beta(t) = -2A(t)$ とする。

2.2 アルゴリズムの構造

FALQON アルゴリズム [3] において、問題ハミルトニアン H_p 、駆動ハミルトニアン H_d を用いて、以下のようにユニタリ演算子 U_p, U_d を定義する。ここで、 Δt は微小時間を表すパラメータである。

$$U_p = e^{-iH_p \Delta t} \quad (5)$$

$$U_d(\beta) = e^{-i\beta H_d \Delta t} \quad (6)$$

ここで、全ての量子ビットにアダマールゲートを適用させた初期状態 $|\psi_0\rangle = |+\rangle^{\otimes N}$ に対し、 $U_p U_d(\beta_j)$ を $j = 1$ から層の数 k に達するまで適用させていく回路を求める。つまり、 k 層の回路を適用した後の量子状態 $|\psi_k\rangle$ は以下のように表せる。

$$|\psi_k\rangle = U_d(\beta_k) U_p \cdots U_d(\beta_1) U_p |\psi_0\rangle \quad (7)$$

3 結果

3.1 評価指標

実験においては、それぞれパラメータを埋め込んだ量子回路を適用した量子状態を作成し、ノイズを含むシミュレータによる 12800 回の測定を行い得られた結果を使用する。結果を評価する指標として、以下のようなものを考える。

- **彩色成功率:** 得られた結果で頂点が必ず1色で塗られているような解が得られた割合
- **成功率:** 頂点が必ず1色で塗られており、かつグラフ彩色の条件を満たすような解が得られた割合
- **近似率:** 収束時の量子状態の H_p の期待値を、正解に対応する量子状態に関する H_p の期待値で割ったもの

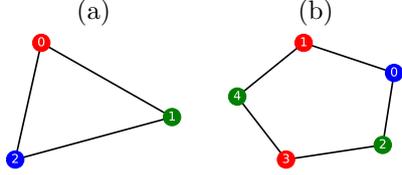


図 1: (a) 3 頂点 2 正則グラフ (b) 5 頂点 2 正則グラフ

3.2 FALQON のパラメータによる違い

図 1 に示した 2 つのグラフについて、 Δt , λ を変更し、それぞれ QAOA, FALQON での実験を行い、結果を測定した。

図 2 では 5 頂点グラフに対する FALQON を実行した際の H_p の変化をコストとして描画している。ここで、横軸がレイヤー数、縦軸がコストを表す。FALQON においては、図 2(a) のように、コストが単調減少しながら収束する。また、 λ や Δt の値が大きくなると、図 2(b) のように、コストが振動しながら収束する。

特に良かったものについて、表 1, 2 にまとめる。表全体は付録に添付した。QAOA においては使用したレイヤー数を手法欄にカッコ書きで表記している。

制約の λ について、QAOA では表 1 で見られるように $\lambda = 0.5$ の際に一番高い成功率が得られている。近似率と正解率には正の相関が見られたが、必ずしも近似率が高いほど正解率が高いとは言えなかった。また、QAOA と比べて FALQON が優れている点として、彩色成功率に対する成功率の割合が安定して高いことが挙げられる。

表 2 で見られるように、5 頂点のグラフにおいては、最も近似率、成功率ともに良いものは FALQON であり、成功率では QAOA で最も良かったものの 1.5 倍以上にも至っている。一方、FALQON においては高い正解率を得るためには、収束までの所要時間が長くなってしまいうというデメリットが見られる。

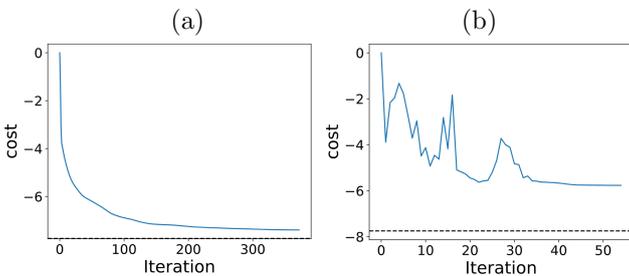


図 2: 5 頂点グラフの FALQON において、(a) $\Delta t = 0.025$, $\lambda = 0.75$ でのコストが単調減少する様子。(b) $\Delta t = 0.05$, $\lambda = 0.75$ でコストが振動する様子。

表 1: $\Delta t = 0.025$ における 3 頂点 2 正則グラフの頂点彩色問題の測定結果。

| 手法 | λ | 彩色成功率 | 成功率 | 時間 (秒) | 近似率 |
|----------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| QAOA(12) | 0.25 | 0.9866 | 0.9865 | 84.2 | 0.9947 |
| QAOA(14) | 0.5 | 0.9926 | 0.9912 | 116.8 | 0.9939 |
| QAOA(8) | 0.75 | 0.9250 | 0.5770 | 45.7 | 0.9013 |
| FALQON | 0.25 | 0.9377 | 0.9368 | 187.4 | 0.9807 |
| FALQON | 0.5 | 0.9476 | 0.9448 | 71.1 | 0.9800 |

表 2: 5 頂点 2 正則グラフの頂点彩色問題の測定結果

| 手法 | Δt | λ | 彩色成功率 | 成功率 | 時間 (秒) | 近似率 |
|---------|------------|-----------|---------|--------|--------|--------|
| QAOA(6) | 0.05 | 0.5 | 0.7480 | 0.4459 | 325.5 | 0.8869 |
| QAOA(8) | 0.05 | 0.5 | 0.7043 | 0.3788 | 721.1 | 0.8931 |
| FALQON | 0.025 | 0.5 | 0.50672 | 0.4725 | 883.8 | 0.8921 |
| FALQON | 0.025 | 0.75 | 0.9295 | 0.8117 | 1775.5 | 0.9543 |
| FALQON | 0.05 | 0.25 | 0.0518 | 0.0444 | 458.0 | 0.8712 |
| FALQON | 0.05 | 0.75 | 0.3658 | 0.1604 | 44.0 | 0.7442 |

3.3 MAXCUT 問題と頂点彩色問題での比較

同様の手法を用いて MAXCUT 問題を解いた。使用するグラフは、付録の図 3 に示す、MAXCUT におけるカット数が 14 の 9 頂点グラフ、カット数が 18 の 14 頂点グラフを利用した。辺の重みは全て 1 である。

測定結果を表 3 に示す。ここで、成功率は最大のスコアが得られた割合、平均スコアは得られた結果のスコアの平均である。グラフ彩色問題とは対照的に、FALQON では QAOA と比べて所要時間が短い、成功率では QAOA のほうが高い成功率が得られている。

表 3: $\Delta t = 0.025$ における MAXCUT 問題の測定結果。

| グラフ | 手法 | 成功率 | 平均スコア | 時間 (秒) | 近似率 |
|------|----------|--------|---------|----------|--------|
| 9-4 | QAOA(10) | 0.8434 | 13.6066 | 51.0290 | 0.9210 |
| 9-4 | FALQON | 0.7307 | 13.3539 | 1.3361 | 0.8692 |
| 14-3 | QAOA(8) | 0.4957 | 17.4330 | 185.9099 | 0.9227 |
| 14-3 | FALQON | 0.2766 | 16.9930 | 92.9632 | 0.8662 |

4 まとめと今後の課題

グラフ彩色問題のような複雑な問題、かつ、サイズが大きいのものが FALQON の QAOA に対する優位性が見られた。特に、彩色成功率に対して成功率が高いことが影響しているように見えるため、彩色成功率を改善することによって、FALQON におけるさらなる性能向上が見込めるのではないだろうか。また、1 レイヤー当たりのコストの減少量を増やすことによって、収束に必要なレイヤー数や時間を減らし、エラーによる影響を低減させつつ解を得ることができると考えられる。今後はこのような点を改善していきたい。

参考文献

- [1] E. Farhi, J. Goldstone, and S. Gutmann, A quantum approximate optimization algorithm, arXiv preprint arXiv:1411.4028 (2014).
- [2] A. B. Magann, K. M. Rudinger, M. D. Grace, and M. Sarovar, Feedback-based quantum optimization, Phys. Rev. Lett. **129**, 250502 (2022).
- [3] A. B. Magann, K. M. Rudinger, M. D. Grace, and M. Sarovar, Lyapunov-control-inspired strategies for quantum combinatorial optimization, Phys. Rev. A **106**, 062414 (2022).

5 付録

5.1 アルゴリズム

FALQON におけるパラメータ β の決定方法.

FALQON 1 FALQON におけるパラメータ決定

- 1: $\beta_1 \leftarrow 0$
 - 2: $j \leftarrow 1$
 - 3: **for** $j \leq k$ **do**
 - 4: $|\psi_j\rangle = U_d(\beta_j)U_p|\psi_{j-1}\rangle$
 - 5: $\beta_j \leftarrow -\langle\psi_j|H_f|\psi_j\rangle$
 - 6: $j \leftarrow j + 1$
 - 7: **end for**
-

FALQON におけるフィードバック項 H_f の算出.

$$\begin{aligned}
 H_f = & -\frac{1}{2} \sum_{(v_1, v_2) \in E} \sum_{c=0}^{K-1} (Y_{v_1, c} Z_{v_2, c} + Z_{v_1, c} Y_{v_2, c}) \\
 & - 2(2 - K) \lambda \sum_{v=0}^{N-1} \sum_{c=0}^{K-1} Y_{v, c} \\
 & - 2\lambda \sum_{v=0}^{N-1} \sum_{c_1=0}^{K-2} \sum_{c_2=c_1+1}^{K-1} (Y_{v, c_1} Z_{v, c_2} + Z_{v, c_1} Y_{v, c_2})
 \end{aligned}$$

5.2 MAXCUT 問題

MAXCUT 問題を解いた結果

以下では、収束レイヤー数は H_p に関する期待値の差分が 10^{-4} になるのに必要であったレイヤー数である.

表 4: MAXCUT 問題における測定結果

| グラフ | 手法 | Δt | 成功率 | 平均スコア | 収束レイヤー数 (FALQON) | 所要時間 (秒) | 近似率 |
|------|----------|------------|--------|---------|---------------------|----------|--------|
| 9-4 | QAOA(2) | 0.025 | 0.4580 | 12.5992 | — | 0.7 | 0.7214 |
| 9-4 | QAOA(4) | 0.025 | 0.5827 | 12.9708 | — | 6.3 | 0.8007 |
| 9-4 | QAOA(6) | 0.025 | 0.6282 | 13.0923 | — | 14.2 | 0.8151 |
| 9-4 | QAOA(8) | 0.025 | 0.7351 | 13.3792 | — | 29.0 | 0.8763 |
| 9-4 | QAOA(10) | 0.025 | 0.8434 | 13.6066 | — | 51.0 | 0.9210 |
| 9-4 | FALQON | 0.0125 | 0.7822 | 13.4834 | 88 | 5.0 | 0.8988 |
| 9-4 | FALQON | 0.025 | 0.7307 | 13.3539 | 44 | 1.3 | 0.8692 |
| 14-3 | QAOA(2) | 0.025 | 0.0355 | 15.4505 | — | 3.5 | 0.6585 |
| 14-3 | QAOA(4) | 0.025 | 0.1465 | 16.6228 | — | 28.3 | 0.8166 |
| 14-3 | QAOA(6) | 0.025 | 0.3366 | 17.1913 | — | 109.5 | 0.8921 |
| 14-3 | QAOA(8) | 0.025 | 0.4957 | 17.4330 | — | 185.9 | 0.9227 |
| 14-3 | QAOA(8) | 0.05 | 0.4851 | 17.4172 | — | 184.9 | 0.9227 |
| 14-3 | FALQON | 0.025 | 0.2766 | 16.9930 | 129 | 93.0 | 0.8662 |

MAXCUT 問題に利用した問題.

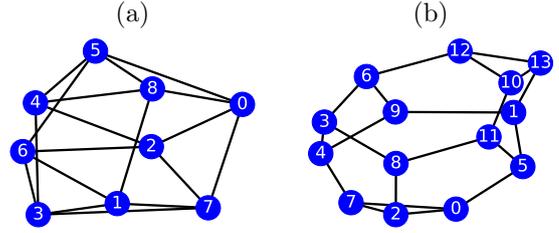


図 3: (a) 9 頂点 4 正則グラフ (b) 14 頂点 3 正則グラフ

5.3 グラフ頂点彩色問題の測定結果

以下では、FALQON においてコストの振動が見られたものには手法欄に*を記している。

表 5: 3 頂点 2 正則グラフの頂点彩色問題における結果

| 手法 | Δt | λ | 彩色成功率 | 成功率 | 成功率/彩色成功率 | 収束レイヤー数 (FALQON) | 所要時間 (秒) | 近似率 |
|----------|------------|-----------|--------|--------|-----------|---------------------|----------|--------|
| QAOA(2) | 0.025 | 0.25 | 0.3717 | 0.2530 | 0.6807 | — | 1.4 | 0.6849 |
| QAOA(4) | 0.025 | 0.25 | 0.6421 | 0.6319 | 0.9841 | — | 11.3 | 0.8877 |
| QAOA(6) | 0.025 | 0.25 | 0.2834 | 0.2180 | 0.7692 | — | 15.6 | 0.7160 |
| QAOA(8) | 0.025 | 0.25 | 0.5091 | 0.5020 | 0.9860 | — | 21.1 | 0.8335 |
| QAOA(10) | 0.025 | 0.25 | 0.9874 | 0.9860 | 0.9986 | — | 49.0 | 0.9936 |
| QAOA(12) | 0.025 | 0.25 | 0.9866 | 0.9865 | 0.9999 | — | 84.2 | 0.9947 |
| QAOA(14) | 0.025 | 0.25 | 0.9643 | 0.9618 | 0.9974 | — | 173.9 | 0.9836 |
| QAOA(2) | 0.025 | 0.5 | 0.7176 | 0.3952 | 0.5507 | — | 0.7 | 0.7752 |
| QAOA(4) | 0.025 | 0.5 | 0.7612 | 0.6145 | 0.8073 | — | 5.9 | 0.8699 |
| QAOA(6) | 0.025 | 0.5 | 0.8769 | 0.8493 | 0.9685 | — | 18.5 | 0.9283 |
| QAOA(8) | 0.025 | 0.5 | 0.4680 | 0.2185 | 0.4669 | — | 53.8 | 0.7139 |
| QAOA(10) | 0.025 | 0.5 | 0.7141 | 0.3991 | 0.5589 | — | 20.7 | 0.7805 |
| QAOA(12) | 0.025 | 0.5 | 0.7248 | 0.4068 | 0.5612 | — | 32.2 | 0.7827 |
| QAOA(14) | 0.025 | 0.5 | 0.9926 | 0.9912 | 0.9987 | — | 116.8 | 0.9939 |
| QAOA(4) | 0.025 | 0.75 | 0.8438 | 0.3730 | 0.4421 | — | 3.1 | 0.8249 |
| QAOA(6) | 0.025 | 0.75 | 0.8453 | 0.3813 | 0.4511 | — | 7.3 | 0.8281 |
| QAOA(8) | 0.025 | 0.75 | 0.9250 | 0.5770 | 0.6238 | — | 45.7 | 0.9013 |
| QAOA(10) | 0.025 | 0.75 | 0.8636 | 0.3840 | 0.4446 | — | 25.5 | 0.8327 |
| QAOA(12) | 0.025 | 0.75 | 0.9358 | 0.4509 | 0.4819 | — | 108.6 | 0.8698 |
| QAOA(14) | 0.025 | 0.75 | 0.6832 | 0.3398 | 0.4974 | — | 360.3 | 0.7502 |
| QAOA(2) | 0.05 | 0.25 | 0.3698 | 0.2451 | 0.6627 | — | 1.3 | 0.6849 |
| QAOA(4) | 0.05 | 0.25 | 0.6323 | 0.6238 | 0.9865 | — | 11.1 | 0.8877 |
| QAOA(6) | 0.05 | 0.25 | 0.2748 | 0.2096 | 0.7626 | — | 59.0 | 0.7160 |
| QAOA(8) | 0.05 | 0.25 | 0.9859 | 0.9849 | 0.9990 | — | 49.9 | 0.9936 |
| QAOA(10) | 0.05 | 0.25 | 0.9852 | 0.9841 | 0.9988 | — | 50.7 | 0.9936 |
| QAOA(2) | 0.05 | 0.5 | 0.7155 | 0.4043 | 0.5651 | — | 0.7 | 0.7752 |
| QAOA(4) | 0.05 | 0.5 | 0.7585 | 0.6073 | 0.8006 | — | 5.9 | 0.8699 |
| QAOA(6) | 0.05 | 0.5 | 0.8740 | 0.8477 | 0.9699 | — | 18.3 | 0.9283 |
| QAOA(8) | 0.05 | 0.5 | 0.4573 | 0.2119 | 0.4634 | — | 52.6 | 0.7139 |
| QAOA(10) | 0.05 | 0.5 | 0.7234 | 0.4081 | 0.5641 | — | 20.8 | 0.7805 |
| QAOA(2) | 0.05 | 0.75 | 0.8519 | 0.3737 | 0.4386 | — | 3.1 | 0.8249 |
| QAOA(4) | 0.05 | 0.75 | 0.8498 | 0.3752 | 0.4414 | — | 3.2 | 0.8249 |
| QAOA(6) | 0.05 | 0.75 | 0.8452 | 0.3789 | 0.4483 | — | 8.1 | 0.8281 |
| QAOA(8) | 0.05 | 0.75 | 0.9228 | 0.5872 | 0.6363 | — | 45.9 | 0.9013 |
| QAOA(10) | 0.05 | 0.75 | 0.8571 | 0.3829 | 0.4467 | — | 25.3 | 0.8327 |
| FALQON | 0.025 | 0.25 | 0.9377 | 0.9368 | 0.9990 | 484 | 187.4 | 0.9807 |
| FALQON | 0.025 | 0.5 | 0.9476 | 0.9448 | 0.9971 | 297 | 71.1 | 0.9800 |
| FALQON | 0.025 | 0.75 | 0.9632 | 0.9502 | 0.9865 | 216 | 38.1 | 0.9791 |
| FALQON | 0.05 | 0.25 | 0.9593 | 0.9586 | 0.9993 | 243 | 48.1 | 0.9836 |
| FALQON | 0.05 | 0.5 | 0.9602 | 0.9558 | 0.9954 | 144 | 17.3 | 0.9799 |
| *FALQON | 0.05 | 0.75 | 0.9299 | 0.9009 | 0.9687 | 75 | 4.9 | 0.9623 |

表 6: 5 頂点 2 正則グラフの頂点彩色問題における結果

| 手法 | Δt | λ | 彩色成功率 | 成功率 | 成功率/彩色成功率 | 収束レイヤー数 (FALQON) | 所要時間 (秒) | 近似率 |
|----------|------------|-----------|---------|--------|-----------|---------------------|----------|--------|
| QAOA(2) | 0.025 | 0.5 | 0.5184 | 0.1929 | 0.3721 | — | 9.1 | 0.8099 |
| QAOA(4) | 0.025 | 0.5 | 0.5258 | 0.2567 | 0.4883 | — | 100.5 | 0.8552 |
| QAOA(6) | 0.025 | 0.5 | 0.7475 | 0.4473 | 0.5985 | — | 305.8 | 0.8869 |
| QAOA(8) | 0.025 | 0.5 | 0.7127 | 0.3901 | 0.5473 | — | 736.5 | 0.8931 |
| QAOA(2) | 0.05 | 0.25 | 0.1495 | 0.0975 | 0.6520 | — | 15.0 | 0.7269 |
| QAOA(4) | 0.05 | 0.25 | 0.1130 | 0.0869 | 0.7690 | — | 86.2 | 0.7979 |
| QAOA(6) | 0.05 | 0.25 | 0.1802 | 0.0938 | 0.5206 | — | 101.7 | 0.6867 |
| QAOA(8) | 0.05 | 0.25 | 0.1084 | 0.0644 | 0.5937 | — | 321.0 | 0.7016 |
| QAOA(2) | 0.05 | 0.5 | 0.5096 | 0.1963 | 0.3851 | — | 9.0 | 0.8099 |
| QAOA(4) | 0.05 | 0.5 | 0.5319 | 0.2560 | 0.4813 | — | 109.3 | 0.8552 |
| QAOA(6) | 0.05 | 0.5 | 0.7480 | 0.4459 | 0.5962 | — | 325.5 | 0.8869 |
| QAOA(8) | 0.05 | 0.5 | 0.7043 | 0.3788 | 0.5379 | — | 721.1 | 0.8931 |
| QAOA(10) | 0.05 | 0.5 | 0.6874 | 0.3140 | 0.4568 | — | 1740.6 | 0.8588 |
| FALQON | 0.025 | 0.25 | 0.0795 | 0.0737 | 0.9272 | 338 | 1612.9 | 0.8667 |
| FALQON | 0.025 | 0.5 | 0.50672 | 0.4725 | 0.9325 | 275 | 883.8 | 0.8921 |
| FALQON | 0.025 | 0.75 | 0.9295 | 0.8117 | 0.8733 | 373 | 1775.5 | 0.9543 |
| FALQON | 0.025 | 1.0 | 0.5337 | 0.5096 | 0.9548 | 506 | 8429.0 | 0.8927 |
| FALQON | 0.05 | 0.25 | 0.0518 | 0.0444 | 0.8567 | 169 | 458.0 | 0.8712 |
| FALQON | 0.05 | 0.5 | 0.6219 | 0.5964 | 0.9590 | 150 | 298.6 | 0.9019 |
| *FALQON | 0.05 | 0.75 | 0.3658 | 0.1604 | 0.4385 | 55 | 44.0 | 0.7442 |