

量子アニーリング的群知能で解く
最大カット問題の正答率

Correct answer rate of Max-cut problems solved by
quantum-annealing-inspired swarm intelligence

産総研¹, ◯吉澤 明男¹

AIST¹, ◯Akio Yoshizawa¹

E-mail: yoshizawa-akio@aist.go.jp

量子アニーリングによる組合せ最適化に関して我々はその確率的手法である経路積分量子モンテカルロ法[1]に内在するレプリカ集団の群知能性に注目している[2]。Fig.1 の通り群知能性は再帰型ニューラルネットワーク内の最隣接レプリカ間の相互作用（図中白丸）で表現できる。今回 100 スピンのイジングモデルに対して最大カット問題を解き正答率を評価した。各レプリカに対して冷却は r -fractional update protocol ($r = 0.2$) [3]で実施する。相互作用としてレプリカ $(k, k + 1)$ 間で同一番号スピン ($\sigma_i^k, \sigma_i^{k+1}$) が反並行状態であるときに限り揺らぎ (coin toss) を与える (Table 1)。10 種類の最大カット問題に対する正答率を示す (Table 2)。イジングモデルは結合率 50%のランダムネットワークである。レプリカ数は 500、ループ繰り返しは 20k であり、最終 100 回は冷却のみである。基底状態に到達したレプリカ数の割合で正答率を求め、10 回の試行に対する平均値 (標準偏差) を示した。比較のため同条件下で Metropolis 法[4]によるシミュレーテッド・アニーリングの結果も示す。正答率は問題の難易度に強く依存するが、本手法の正答率は Metropolis 法に対して常に高い。更に Metropolis 法と異なり本手法ではアニーリングのスケジュール管理が不要である。参考文献: [1] V. S. Denchev et al., Phys. Rev. X 6, 031015 (2016). [2] 吉澤, QIT2019-31, 119 (2019). [3] D. H. Ballard et al., TR 167, Comp. Sci. Dept., Univ. of Rochester (1986). [4] S. Kirkpatrick et al., Science 220, 671 (1983). 謝辞: 本研究の一部は Q-LEAP (文部科学省) の成果である。

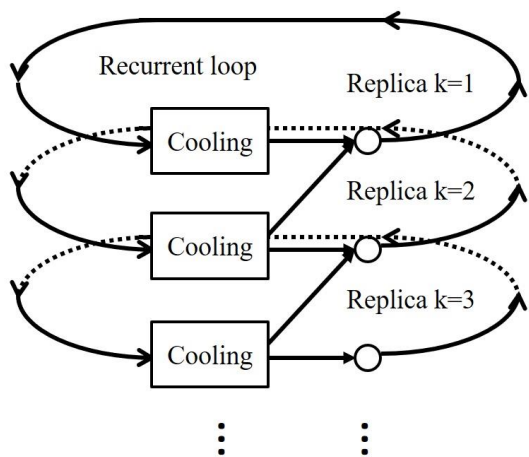


Fig. 1 Swarm-intelligence-like recurrent neural network inspired by path-integral quantum Monte Carlo method.

Cooling: r -fractional update protocol [3].
Open circles: replica-replica interactions.

Table 1 Replica-replica interactions.

Input	Output
$\sigma_i^k = \sigma_i^{k+1} = \pm 1$	$\sigma_i^k = \pm 1$
$\sigma_i^k = -\sigma_i^{k+1}$	$\sigma_i^k = \text{coin toss}$

Table 2 Correct answer rate (calculated from 10 trial data for each problem) and standard deviation (%).

Problem	Swarm	Metropolis
1	90.02(6.44)	13.66(1.13)
2	87.16(3.60)	28.60(1.70)
3	75.18(8.98)	22.00(1.65)
4	85.78(9.27)	16.46(1.98)
5	71.98(12.64)	15.02(1.52)
6	55.70(20.04)	14.50(1.37)
7	40.68(19.69)	12.60(1.53)
8	83.78(7.13)	33.80(1.49)
9	86.62(5.05)	39.80(2.04)
10	91.86(3.02)	38.32(1.81)