論理ゲートイジング計算機における抽出型多数決論理での スピンダイナミクスのボルツマン統計との比較

Comparison of Spin Dynamics between Boltzmann Statistics and Ising Spin Computing

Based on Logic Gates Using Extraction-Type Majority Voting Logic

東京農工大 ⁰吉田朝輝、三木司、島田萌絵、米田優里、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

°A. Yoshida, T. Miki, M. Shimada, Y. Yoneda, and J. Shirakashi

E-mail: s216088x@st.go.tuat.ac.jp

近年、量子アニーリング方式のイジング計算機[1]に着想を得た、量子インスパイアード方式の イジング計算機が注目を集めている[2-6]。これまで我々は、イジングスピンモデルを論理表現し た量子インスパイアードなイジング計算機中でのスピン判定論理について検討してきた[5,6]。前 回の報告で提案した抽出型多数決論理(Extraction-Type Majority Voting Logic: E-MVL)[6]では、ボル ツマン分布に沿ったスピン更新が示唆され、E-MVLにより実現するスピン状態はボルツマン分布 に基づき生成されることが考えられる。今回は、E-MVLを用いたスピン判定論理における平衡状 態でのエネルギー分布とボルツマン統計との比較を検討した。

E-MVL ではスピン間の結合を切断することで、エネルギーが上昇するスピン状態の遷移を確率的に許容する。これをスピン間結合のスパース化と呼び、スパース化を制御するパラメータとしてスパース割合 Psを用いる。図 1 に今回の実験で検討を行うイジングスピンモデル(a)と E-MVL(b)またはボルツマン統計(c)により得られたエネルギー分布を示す。図 1(a)は、10×10=100 個のスピンを正方格子状に配置し、交換相互作用係数を+1 または-1 でランダムに設定したイジングスピンモデルを示す。この系に対し、熱浴法の遷移確率を採用したマルコフ連鎖モンテカルロ(MCMC)法[4]を用いて、温度 T でのボルツマン分布を求める。図 1(b)は E-MVL における Ps=0.5、図 1(c)には MCMC における T=5 としたスピン更新により得られた、平衡状態での 100 スピン系のエネルギー分布をそれぞれ示す。これらの分布は図 1(a)の系において、異なるスピンの初期状態で 10⁴回の実行により得られた。これより、図 1(b)の E-MVL における分布は、図 1(c)のボルツマン分布と対応しており、本手法によりボルツマン統計に従ったスピンダイナミクスが確認された。また、各温度の平衡状態を実現するよう Psを緩やかに減少させることで、基底状態へのエネルギー収束が示唆される。



Fig. 1 (a) Ising spin model on a 10×10 square lattice. (b) Energy distributions given by E-MVL at $P_s = 0.5$ with 10^4 instances and (c) MCMC at T = 5 with 10^4 instances.

References

[1] M. W. Johnson, et al., Nature 473 (2011) 194.

- [2] H. Goto, K. Tatsumura, and A. R. Dixon, Sci. Adv. 5 (2019) eaav2372.
- [3] M. Aramon, G. Rosenberg, E. Valiante, T. Miyazawa, H. Tamura, and H. G. Katzgraber, Front. Phys. 7 (2019) 48.
- [4] T. Okuyama, C. Yoshimura, M. Hayashi, and M. Yamaoka, 2016 IEEE Int. Conf. Rebooting Computing (2016) 1.
- [5] 三木司、島田萌絵、白樫淳一: 第81回応用物理学会秋季学術講演会 9a-Z28-11 (2020).

[6] 吉田朝輝、三木司、島田萌絵、米田優里、白樫淳一: 電子情報通信学会技術研究報告 121 (2021) 27.