

## スピン判定論理のハイブリッド化による 論理ゲートイジング計算機での基底状態探索

### Ground State Searches with Ising Spin Models Using Hybrid-Type Spin Decision Logics

東京農工大 ◯三木司、島田萌絵、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

◯T. Miki, M. Shimada, and J. Shirakashi

E-mail: s197706y@st.go.tuat.ac.jp

ポートフォリオ最適化[1]や画像認識[2]等の広範な社会課題を解決する手法として、イジング計算機が注目を集めている[3,4]。様々な社会課題は、バイナリ変数を用いた定式化により組合せ最適化問題と等価になる。イジング計算機では、問題をイジングスピンモデルのハミルトニアンにマッピングすることで、自然の収束動作を用いた効率的な解探索を実行できる。これまで我々は、イジングスピンモデルを論理ゲートで表現し、スピン判定論理による解探索手法を検討してきた[5,6]。今回は、スピン判定論理の1つである多数決論理[5]と、我々が提案してきた即断即決論理[6]のハイブリッド化により、論理ゲートイジング計算機における演算特性の向上を目指した。

図1に、ハイブリッド型スピン判定論理を示す。スピン判定論理の1つである多数決論理[5]は、更新を行うスピンと結合する全てのスピンとの相互作用を考慮し、局所的なエネルギーが下がるよう当該スピンを更新する。一方、即断即決論理[6]では、結合するスピンからランダムに選択された1つのスピンを用いて当該スピンを更新するため、局所的なエネルギーが上昇するスピン更新を一定確率で許容する。ハイブリッド型スピン判定論理では、スピンを安定な向きに更新する Stabilizer として多数決論理を用い、局所解を脱出するための Fluctuation として即断即決論理を用いる。任意のスピン更新において即断即決論理が動作する確率  $P_{fluc}$  を導入し、この値を徐々に減少させることで、即断即決論理に内包された Fluctuation の強度を下げながら基底状態探索を行う。実際に、ソフトウェア上にエミュレートされた本計算機を用いて、東京23区( $G = \{23, 50\}$ )を4色で塗り分けるグラフ彩色問題を解いた。従来の即断即決論理[6]と、ハイブリッド型スピン判定論理で演算を行い、解がどれだけ最適解に近かったかを表す Accuracy を用いて比較を行った。従来の即断即決論理では Accuracy が 0.934 であったのに対し、本手法を用いた場合の Accuracy は 0.974 となり、解精度の向上が確認された。以上より、2つのスピン判定論理のハイブリッド化によって、論理ゲートイジング計算機における解探索性能の向上が示唆された。

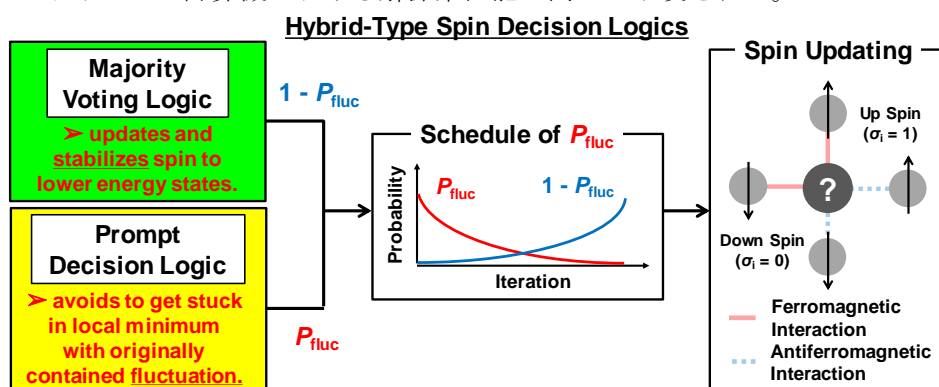


Fig. 1 Hybridization between majority voting logic and prompt decision logic.

#### References

- [1] G. Rosenberg, P. Haghnegahdar, P. Goddard, P. Carr, K. Wu, and M. L. de Prado, IEEE J. Sel. Top. Sign. Proc. 10, 6 (2016) 1053.
- [2] E. Boyda, S. Basu, S. Ganguly, A. Michaelis, S. Mukhopadhyay, and R. R. Nemani, PLoS ONE 12, 2 (2017).
- [3] T. Takemoto, M. Hayashi, C. Yoshimura, and M. Yamaoka, IEEE J. Solid-state Circuits 55, 1 (2020) 145.
- [4] H. Goto, K. Tatsumura, and A. R. Dixon, Sci. Adv. 5 (2019) eaav2372.
- [5] 三木、島田、平田、白樫: 第 67 回応用物理学会春季学術講演会 20p-F211-5 (2020).
- [6] T. Miki, M. Shimada, and J. Shirakashi, presented at IEEE DTS 2020, June, Hammamet, Tunisia (2020).