加熱シミュレーテッド分岐アルゴリズム

Simulated bifurcation assisted by thermal fluctuation

（株）東芝 研究開発センター　°金尾 太郎，後藤 隼人

Corporate R&D Center, Toshiba Corp. °Taro Kanao, Hayato Goto

E-mail: taro.kanao@toshiba.co.jp

実社会において重要となっている組合せ最適化問題を解くために、非従来型コンピューティングに基づく様々なイジングマシンが開発されている[1-7]。その中で、シミュレーテッド分岐アルゴリズム（simulated bifurcation, SB）というヒューリスティックアルゴリズムを実装したイジングマシンでは高い性能が報告されている[5, 6]。SB は、分岐のあるハミルトン力学系を大規模並列計算[7]によってシミュレートすることによりイジング問題に対する解を高速に与えることができる。

本研究では、SB の性能をさらに向上させるために、そのダイナミクスに Nosé-Hoover 法[8, 9]によって熱ゆらぎを導入した。Nosé-Hoover 法は有限温度のハミルトン力学系をシミュレートするために使われてきた手法である。我々は、Nosé-Hoover 法の中の加熱過程がイジング問題において局所最小解からの脱出を助け、従って性能の向上につながることを見出した。そこで本研究では新しいアルゴリズムとして加熱 SB を提案し、2000 スピンまでの全結合イジング問題を数値的に解くことによりその性能向上を確かめた。

Fig. 1 に 2000 スピンの全結合イジング問題（ベンチマーク問題 K_{2000} [2, 5, 6]）の結果を示す。Fig. 1(a)では加熱により瞬時温度が最終時刻付近まで高温に留まっていることが確認できる。Fig. 1(b)は加熱 SB により従来の SB [5, 6]より少ない計算ステップ数で解が得られることを示している。

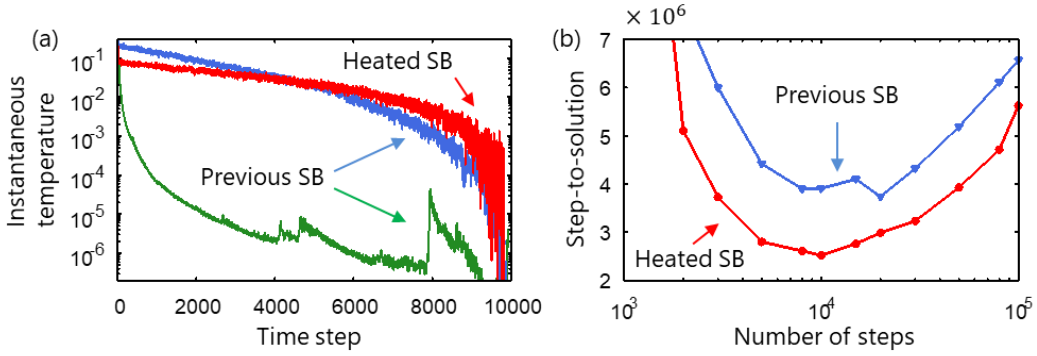

Fig. 1. (a) Time evolutions of instantaneous temperatures in previous and heated simulated bifurcations (SBs). (b) Comparison of performance for K_{2000}. Step-to-solution is shown as a function of the number of time steps.

[1] M. W. Johnson et al., Nature **473**, 194 (2011). [2] T. Inagaki et al., Science **354**, 603 (2016). [3] M. Yamaoka et al., IEEE J. Solid-State Circuits **51**, 303 (2016). [4] S. Tsukamoto et al., FUJITSU Sci. Tech. J. **53**, 8 (2017). [5] H. Goto, K. Tatsumura, A. R. Dixon, Sci. Adv. **5**, eaav2372 (2019). [6] H. Goto et al., Sci. Adv. **7**, eabe7953 (2021). [7] K. Tatsumura, M. Yamasaki, H. Goto, Nat. Electron. **4**, 208 (2021). [8] S. Nosé, Molec. Phys. **52**, 255 (1984). [9] W. G. Hoover, Phys. Rev. A **31**, 1695 (1985).

© 2022年 応用物理学会