

## Union-find アルゴリズムの非同期スレッド並列化

松尾春彦, 藤堂眞治  
東大院工

スピン模型に対する古典および量子モンテカルロ法でローカルフリップを用いるアルゴリズムは、臨界点近傍で相関長の増大により critical slowing down に悩まされる。この困難を克服するための手法として、Swendsen-Wang アルゴリズム [1] や Wolff アルゴリズム [2] に代表される、クラスターアップデートを用いるモンテカルロ法が開発され、効率的なアップデートが可能となった。

しかしながら、臨界点近傍では相関長の増大のため、クラスターアップデートを用いたアルゴリズムでは最大でシステムサイズ程度のクラスターを生成しなければならず、その計算量は無視できないものとなる。また、近年の計算機資源の増大により、シミュレーションの規模自体も増大しており、扱うクラスターのサイズ・数も非常に大きなものとなっている。そのため、効率の良いクラスター生成のアルゴリズムを考案することが必須である。

クラスター生成の代表的な手法として union-find アルゴリズム [3] がある。Union-find アルゴリズム高速化として、古くは Hoshen-Kopelman アルゴリズム [4] がよく知られている。近年ではネットワーク科学の研究にともないさまざまなバリエーションが考案されている。また、計算機のマルチコア化や、GPGPU の発展により、並列化といった方向でも研究が進められている [5]。

本講演では 2 次元 Ising 模型に対する Swendsen-Wang アルゴリズムを非同期スレッド並列化した例を紹介する。プログラム全体を OpenMP で並列化し、さらに Union-find を行う部分を OpenMP および CAS (compare and swap) 命令を利用し非同期スレッド並列化した。システムサイズが  $2048 \times 2048$  サイト、温度が臨界点直上の場合、1 スレッドでの実行速度に対し、2,4 スレッド並列の実行速度はそれぞれ 1.94 倍、3.81 倍となり、ほぼ理想的な高速化に成功した。

### 参考文献

- [1] Swendsen R H and Wang J S, Phys. Rev. Lett. 58 (1987) 86
- [2] Wolff U, Phys. Rev. Lett. 69 (1989) 361
- [3] Knuth D, The Art of Computer Programming, Vol. 1, Fundamental Algorithms 3rd edition (Addison Wesley, Reading, 1997)
- [4] J. Hoshen and R. Kopelman, Physical Review B vol. 14 (1976) 3438
- [5] Fredrik Manne and Md. Mostofa Ali Patwary, Proceedings of Eighth International Conference on Parallel Processing and Applied Mathematics (PPAM (1) 2009), Springer LNCS 6067, pp.186, 2009