

メニーコア/GPU クラスタにおける数値計算ライブラリに関する

研究

Study on numerical library on many-core/GPU cluster

高橋大介

筑波大学計算科学研究センター

1. 研究目的

本プロジェクトの目的は、メニーコア/GPU クラスタにおける数値計算ライブラリの開発および性能評価を行うことである。開発する数値計算ライブラリは、高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform、以下 FFT) および多倍長整数演算である。具体的には、メニーコアプロセッサである A64FX を搭載したノードからなる Wisteria-O および、複数の GPU を搭載したノードからなる Cygnus において上記の数値計算ライブラリを開発を行うと共に性能評価を行い、メニーコア/GPU クラスタに適したアルゴリズムおよび最適化手法を見出す。

2. 研究成果の内容

2022 年度は SIMD 命令である Arm Scalable Vector Extension (SVE) 命令を用いて多倍長整数乗算および数論変換 (Number-Theoretic Transform、以下 NTT) の高速化を行った。多倍長演算ライブラリとして GNU Multi-Precision Library (GMP) が知られているが、SIMD 命令はほとんど用いられていない。Reduced-radix 表現を用いることで、キャリーの伝搬処理の回数を削減するとともに、ベクトル化を行うことができた。Arm SVE 命令をサポートしている A64FX プロセッサにおける性能評価の結果、提案手法が GMP に比べて最大 36% 高速に整数乗算を実行できることを示した。

また、NTT のカーネルには剰余乗算が含まれているが、Shoup 乗算を用いることで時間の掛かる除算を実質的に行うことなく、乗算、加減算およびシフト演算のみで剰余乗算を行えることが知られている。そこで、Arm SVE 命令を用いて NTT のカーネルをベクトル化するとともに、MPI と OpenMP を用いて並列化を行った。性能評価の結果、提案する並列 NTT の実装は A64FX プロセッサからなるクラスタである Wisteria-O の 1024 ノード、4096MPI プロセスにおいて 4831 Gops の性能を示した。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

これまでの研究成果を十分に活用し、FFT などの数値計算ライブラリを Cygnus、Wisteria-O 上で実現することにより、今後エクサスケール計算環境で科学技術計算が

行われる際に、計算時間を短縮することができるものと期待される。

4. 今後の展望

本プロジェクトから得られた知見は、エクサスケール計算環境における他の並列数値計算アルゴリズムの最適化手法についても役立てることができると考えている。

5. 成果発表

(1) 学術論文

Takuya Edamatsu and Daisuke Takahashi: Efficient Large Integer Multiplication with Arm SVE Instructions, Proc. International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia 2023), pp. 9–17 (2023).

(2) 学会発表

Daisuke Takahashi: Implementation of Parallel Number-Theoretic Transform on Manycore Clusters, SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE23), RAI Congress Centre, Amsterdam, The Netherlands, February 27, 2023.

(3) その他

| 使用計算機 | 使用計算機に ○ | 配分リソース※ | |
|-----------------------------|-------------|---------|------|
| | | 当初配分 | 追加配分 |
| Cygnus | ○ | 5,000 | |
| Wisteria/BDEC-01 | ○ | 50,000 | |
| ※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 | | | |