

HPC 向け変動精度計算基盤および複数 GPU 間ストリーム処理機構の開発

Development of Computing Platform based on Transprecision and Inter-GPU Streaming Mechanism for HPC

埴 敏博
東京大学

1. 研究目的

FPGA は、AI を始めとした特定用途のアクセラレータとして活用され始めている。OpenCL などの高位合成が可能な開発環境の普及に伴い、限られた電力制約の下 HPC アプリケーションに対してカスタマイズ可能なアクセラレータとして FPGA への期待が高まっている。そこで我々は、1. 変動精度による HPC アプリケーションの精度評価および性能・電力評価、2. 複数ノード GPU 間のデータ転送に伴うストリーム処理機構の実現、3. SYCL および DPC++による上記の演算の統合環境の実現を目指して研究を行っている。

本研究では、宇宙物理のアプリケーション、数値計算などを対象に、FPGA へのオフローディングの実現と変動精度の適用を目指している。さらに、筑波大と理研 R-CCS で開発されている、OpenCL で記述可能な FPGA 間通信フレームワーク CIRCUS (Communication Integrated Reconfigurable CompUting System)の導入に加えて、ホスト上の GPU との連携についても検討する。特に、Pegasus に搭載されている NVIDIA H100 の基礎的な性能評価によって、最新環境において FPGA との役割分担を検討する。SYCL を用いたコードの FPGA 移植・GPU との協調にも取り組む。

2. 研究成果の内容

高性能計算における計算時間の短縮や消費エネルギー削減に向けてアプリケーション中の各フェーズで必要とする精度に合わせて計算を行う、変動精度演算が注目を集めている。しかし、現在の CPU や GPU では、あらかじめ用意された精度の演算器を使う必要があり、任意精度を実現するためにはエミュレーションを行わなければならない。従って、アプリケーション全体で変動精度演算の効果を検証するのは困難であった。特に、階層型行列演算について、これまで CPU や GPU に向けた最適化が試みられてきたが、処理が比較的複雑であり長いパイプラインを必要とすることから、FPGA にも適していると考えられる。本年度は、より複雑な処理を必要とする行列生成部分への適用を検討した。また複数ノード・複数 FPGA での実行も視野に入れてテストを行った。しかしながら、MPI と FPGA とを組み合わせて実行しようとしたと

ころエラーになり、解決の見込みがないことから断念するに至った。

一方で、CUDA で実装したコードについて、GPU による直接ファイル IO を可能にする GPUDirect Storage を用いて HDF5 アプリにおけるファイル IO の最適化を試みた [1-3]。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

本プロジェクトでは、GPU と FPGA との協調計算を目指しており、GPU と FPGA の複合クラスタとしては筑波大 CCS の Cygnus 以外に存在しない。また、筑波大、理研 R-CCS と協力して研究を進める上での共通プラットフォームとしても Cygnus が最適な環境である。従って、本研究の遂行には学際共同利用が必要不可欠であった。

4. 今後の展望

これまで FPGA 上で実証してきた OpenCL, C++を用いた変動精度のためのオフロード演算環境について、引き続き、行列演算のカーネルへの適用について、特にクリロフ部分空間法、階層型行列演算に向けて継続していく予定である。また、ライブラリとして環境の整備を行っていく予定である。ただし、今後スパコンへの FPGA 採用の見通しがないことから、研究を実施するプラットフォームについては見直す必要がある。一方で、SYCL によるアプリケーションコードの FPGA 移植・GPU との協調、加えて GPU による直接ファイル IO を FPGA により支援する機能についても検討予定である。また、超高速・大容量ストレージが GPU の近傍にあるときに、超大規模な計算を GPU を使って実現する手法について検討している。

5. 成果発表

(1) 学術論文

(2) 学会発表

- [1] 富永 瑞己, 埴 敏博, 三木 洋平, 「GPU 直接 IO を用いたファイル IO の高速化」, xSIG 2024, 2024 年 8 月 (査読あり、予稿集発行なし、Best Master's Student Award)
- [2] 埴 敏博, 三木 洋平, 富永 瑞己, 「GPU 直接 IO を用いたファイル IO の高速化」, xSIG 2024 ポスター, 2024 年 8 月
- [3] Toshihiro Hanawa, "Toward Optimizing File IO on GPU Clusters", 第 48 回 ASE 研究会, 2024 年 9 月

(3) その他

筑波大学計算科学研究センター 2024 年度学際共同プログラム利用報告書

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus	○	6400		
Pegasus				
Wisteria/BDEC-01				
※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。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				