大規模ヘテロシステムのための

タスク並列プログラミングモデルの研究

Task-based parallel programming model for large-scale heterogenous system

佐藤　三久
理化学研究所 計算科学研究センタ

１．研究目的

大規模高性能計算システムの性能はエクサスケールの性能を達成しつつある。しかし、ポストエクサスケール時代においては半導体技術の限界やさらなる省電力化の必要性から、単なる性能のみならず、アプリに特化した演算加速装置や FPGA などこれまでと異なる計算機構を持つ、さらに多様化したヘテロな大規模システムになることが想定される。そのため、Cygnus のような GPU や FPGA を搭載した HPC クラスタがこれからの高性能システムとして期待されている。しかし、そのような大規模なヘテロなシステムの利用については、そのためのプログラミングが複雑化し、開発コストが増加することが懸念されており、その生産性が高く、かつ、性能を含む可搬性を持つプログラミングモデルが必要とされている。本研究では、データ依存に基づくタスク並列プログラミングモデルをヘテロジーニアスな演算加速機構やメニーコアを用いた大規模な並列分散メモリ環境において効率的に実行するためのプログラミングモデルと実行時環境の研究開発を目指している。部分的な大域共有メモリ空間を提供する PGAS(Partitioned Global Address Space)をベースにして大域的なデータ依存タスクによるプログラミングを容易するとともにノード間のタスクを効率的に実行するための実行時システムと言語を含むプログラミング環境を研究開発する。GPU や FPGA などの様々演算加速機構にオフロードする部分について、タスクとして統合し、多様化するポスト・エクサ時代の大規ヘテロメニコアムに容易に対応しかつ性能可搬性をサポートするプログラミングモデルを検討する。

２．研究成果の内容

当該年度においては、上のプログラミングモデルのうち、CPU や FPGA へのオフロード部分に用いる OpenACC の設計・実装を中心に行った。実装は、Omni コンパイラ（https://omni-compiler.org/）を用いて実装を行っている。すでに、CUDA を生成する OpenACC コンパイラについては試作されており、これについて、Cygnus を用いて、OpenACC のテストプログラムセット OpenACC-V を実行してチェックと修正

を行った。さらに、FPGA をターゲットとして、CUDA の代わりに OpenCL を生成するコンパイラを設計・実装した。Cygnus の FPGA については、残念ながら、一部分のテストプログラムの実行に留まった。

また、部分的な大域共有メモリ空間を提供する PGAS(Partitioned Global Address Space)を効率的かつ高可搬性に実装するために、低レベル通信レイヤである UCX (Unified Communication X: https://openucx.org/)を用いることを検討している。おもな実装として「富岳」での UCX を進めているが、評価対象として Cygnus の IB を利用した。

３．学際共同利用が果たした役割と意義

本研究は、最終的には各ノードに GPU と FPGA が装備されている次世代の高性能システムを対象として、OpenACC もしくは、OpenACC と XcalableMP を統合した XcalableACC でプログラミングできることを目標しており、このような次世代システムのリファレンス・システムである Cygnus を活用できることの意義は大きい。

４．今後の展望

残念ながら、今回はノード内の OpenACC の評価・検証と OpenCL を出力する設計・実装に留まったが、現在の実装作業は継続しており、来年度以降、全体のタスクモデルの設計・実装が完了した暁には、アプリに特化した演算加速装置や FPGA などこれまでと異なる計算機構を持つ、さらに多様化したヘテロな大規模システムとして、Cygnus を活用させていただきたいと考えている。

５．成果発表

(1) 学術論文

- 渡部裕, 佐藤三久, 辻美和子, 村井均, 朴泰祐, "通信ライブラリ UCX の Tofu-D 対応の検討", 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）研究会報告, 2021-HPC-181(8), 1-7, 2021 年 9 月.
- 綱島隆太, 小林諒平, 藤田典久, 朴泰祐, Lee　Seyong, Vetter Jeffrey S, 村井均, 中尾昌広, 辻美和子, 佐藤三久, “OpenACC による宇宙物理シミュレーションの GPU＋FPGA 協調計算の実装”, ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）研究報告, 2022-HPC-183(11) 1-9 2022 年 3 月

(2) 学会発表

- Tsunashima, Ryuta, Kobayashi, Ryohei, Fujita, Norihisa, Boku, Taisuke, Lee, Seyong, Vetter, Jeffrey S, Murai, Hitoshi, Nakao, Masahiro, Sato, Mitsuhisa, “GPU and FPGA Unified Programming of Astrophysics Real

Application with OpenACC", The 4th R-CCS International Symposium 2022 年 2 月 7 日（ポスター発表）

(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	○	10,000 NH	
Oakforest-PACS			
※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。			