FPGA-GPU 混載プラットフォームにおける HPC アプリケーションとシステム・ソフトウェアの開発（和文）

HPC application and system software development on FPGA-GPU combined platform（英文）

代表者氏名 朴泰祐
所属　筑波大学・計算科学研究センター

１．研究目的

本研究では、Cygnus の FPGA 搭載部を利用し、GPU プログラミングと FPGA プログラミングを連携させ、さらに計算ノードを跨ぐ並列 GPU 間通信を FPGA が効率的に行うハードウェア的枠組みと、それらをユーザから出来る限り隠蔽し、アプリケーション開発を加速させるシステムソフトウェアを開発する。GPU と FPGA の結合は各計算ノード内でそれらのデバイスを結合する PCIe バス上での低遅延・高バンド幅の DMA 通信を用い、これを実アプリケーションに適用する。また、FPGA 間通信についてもユーザからできる限り隠蔽し、ユーザはアプリケーションカーネルの開発に集中し、これを底支えするシステムソフトウェア及び FPGA-IP を我々が提供するという形で効率的な多重複合並列処理に対応するシステムとアプリケーションを開発する。

２．研究成果の内容

Cygnus の Albireo ノードを利用することにより，CHARM (Cooperative Heterogeneous Acceleration with Reconfigurable Multidevices)コンセプトに基づく FPGA 間通信システム CIRCUS，GPU・FPGA 間 DMA 機能の改良を行い，宇宙物理学シミュレーションコード ARGOT を oneAPI の下で FPGA・GPU 連携の下で高速化できることを確認した。最も小さい問題スケールでは，GPU のみの場合に比べ 17 倍もの性能向上が達成された。また，Cygnus の FPGA ネットワークが 2021 年度後半にクラスタリングされ，従来の 8x8 トーラスから，最大 4 セットの 4x4 トーラスにコンパクト化されたことで CIRCUS の改良がより効率的に行えるようになった。さらに，計算科学研究センター・地球環境部門との共同研究により，CPU 版の City-LES を完全 GPU 化し，TOKYO2020 モデルにおいて最大で 16 倍の性能向上が達成された。

３．学際共同利用が果たした役割と意義

本学際共同利用により，CHARM 研究の背景になっていた文科省次世代領域研究開発プロジェクトも順調に実施された。国際共同研究として米国ボストン大学やドイツ・パダボーン大学とのシステム及びアプリケーション開発が続けられている。残念ながらまだ共著論文作成には至っていないが，共同研究を継続する共有プラットフォームとして Cygnus が提供されている意義は大変重要である。

４．今後の展望

2022 年度も 2021 年度に引き続き Cygnus の Albireo ノードを中心とした CHARM コンセプトの研究を続けていく。次世代領域研究開発は 2021 年度で終了したが，それとオーバラップして科研基盤研究(A)の課題「多重複合演算加速機構を用いた次世代スーパーコンピューティング」を継続する中心的リソースとして活用していく予定である。

５．成果発表

(1) 学術論文

・Kazuki Furukawa, Tomoya Yokono, Yoshiki Yamaguchi, Kohji Yoshikawa, Norihisa Fujita, Ryohei Kobayashi, Taisuke Boku, Masayuki Umemura: An Efficient RTL Buffering Scheme for an FPGA-Accelerated Simulation of Diffuse Radiative Transfer, Proc. 2021 International Conference on Field-Programmable Technology, 10.1109/ICFPT52863.2021.9609944, 2021

・Naoya Umezu, Yoshiki Yamaguchi, and Taisuke Boku: A FPGA-based storage control with load balancing, Proc. 2021 IEEE International Conference on Cluster Computing, 10.1109/Cluster48925.2021.00118, 2021

・Riadh Ben Abdelhamid, Yoshiki Yamaguchi, and Taisuke Boku: A Highly-Efficient and Tightly-Connected Many-Core Overlay Architecture, IEEE Access, 10.1109/ACCESS.2021.3074171, 2021

・Ryohei Kobayashi, Kento Miura, Norihisa Fujita, Taisuke Boku, Toshiyuki Amagasa: A Sorting Library for FPGA Implementation in OpenCL Programming, Proc. the 11th International Symposium on Highly Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies, 10.1145/3468044.3468054, 2021

・Norihisa Fujita, Ryohei Kobayashi, Yoshiki Yamaguchi, Taisuke Boku: HBM2 Memory System for HPC Applications on an FPGA, Proc. 2021 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER), 10.1109/Cluster48925.2021.00116, 2021

(2) 学会発表

・小林 諒平，三浦賢人，藤田典久，朴泰祐，天笠俊之: FPGA 向け浮動小数点数型ソーティングライブラリの提案と実装, SWoPP2021: 並列／分散／協調システム

とディペンダブルコンピューティングおよび一般, 2021, 2021/7/20-2021/7/21
・Ryohei Kobayashi, Kento Miura, Norihisa Fujita, Taisuke Boku, Toshiyuki Amagasa: A Sorting Library for FPGA Implementation in OpenCL Programming, HEART2021, 2021, 2021/6/21-2021/6/23
・小林諒平, 三浦賢人, 藤田典久, 朴泰祐, 天笠俊之: コンパクション処理を活用した正規パス問合わせアクセラレータの FPGA 実装, 2021 年 6 月リコンフィギャラブルシステム研究会, 2021, 2021/6/8-2021/6/9
・藤田典久, 小林諒平, 山口佳樹, 朴泰祐: FPGA における HPC アプリケーション向け HBM2 メモリシステムの提案と実装, 情報処理学会ハイパフォーマンス研究会研究報告, 2021, 7/20-7/21
・藤田典久, 小林諒平, 山口佳樹, 朴泰祐, HBM2 搭載 FPGA のための Addressable Cache を用いた HPC 向けメモリシステムの性能評価, 情報処理学会ハイパフォーマンス研究会研究報告, 2022, 3/17-3/18
・Norihisa Fujita, Ryohei Kobayashi, Yoshiki Yamaguchi, Taisuke Boku: FPGA Memory System for HPC Applications using Addressable Cache, HPC Asia 2022, 2022, 1/12-1/14
・中井榛希, 山口佳樹: マルチポートメモリを対象とした実効帯域幅の向上に関する研究, 第 2 回 ACRi 技術交流会, 2022, 2022/3/16
・Kazuki Furukawa, Tomoya Yokono, Yoshiki Yamaguchi, Kohji Yoshikawa, Norihisa Fujita, Ryohei Kobayashi, Taisuke Boku, Masayuki Umemura: Efficiency and Effectiveness Analysis of a Scratchpad Memory on FPGA and GPU for Diffuse Radiation Transfer Simulation, HPC Asia 2022, 2022/1/12-14
・Naoya Umezu, Yoshiki Yamaguchi, Kohji Yoshikawa, Norihisa Fujita, Ryohei Kobayashi, Taisuke Boku, Masayuki Umemura: An Efficient RTL Buffering Scheme for an FPGA-Accelerated Simulation of Diffuse Radiative Transfer, Int. Conf. on Field Programmable Technology 2021, 2021/12/6-10
・Kazuki Furukawa, Tomoya Yokono, Yoshiki Yamaguchi: A FPGA-based storage control with load balancing, 2021, 2021/9/7
・古川和輝, 横野智也, 山口佳樹, 吉川耕司, 藤田典久, 小林諒平, 朴泰祐, 梅村雅之: HBM-FPGA による Diffuse Photon の大規模輻射輸送計算と課題, 第 20 回情報科学技術フォーラム, 2021, 2021/8/25-27
・庭瀬稜平, 原澤輝, 樊若冲, 山口佳樹, 朴泰祐: 密結合型 FPGA クラスタ計算の提案およびその通信性能の検証, 分散／協調処理に関するサマー・ワークショップ（SWoPP2021), 2021, 2021/7/20-21

筑波大学計算科学研究センター　2021 年度学際共同利用　報告書

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus	○	10,000	なし
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。			