



演算加速機構を持つ並列システム向けPGAS言語コンパイラの研究

著者	田淵 晶大
発行年	2018
学位授与大学	筑波大学 (University of Tsukuba)
学位授与年度	2017
報告番号	12102甲第8517号
URL	http://hdl.handle.net/2241/00152772

氏名	田淵 晶大		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第8517号		
学位授与年月日	平成30年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	演算加速機構を持つ並列システム向け PGAS 言語コンパイラの研究		
主査	筑波大学 教授(連携大学院) (理化学研究所)	理学博士	佐藤 三久
副査	筑波大学 教授	工学博士	朴 泰祐
副査	筑波大学 教授	学術博士	和田 耕一
副査	筑波大学 教授	博士（工学）	安永 守利
副査	東京大学 准教授	博士（工学）	埴 敏博

論文の要旨

高性能計算の分野では、性能および消費電力あたりの性能を向上させるために演算加速機構(アクセラレータ)を搭載した並列システムが多く利用されるようになってきた。本研究ではアクセラレータを搭載した並列システム向けの高性能プログラムの記述を簡易し、生産性を向上させ高性能を達成することを目的としている。初期のアクセラレータのプログラミングには CUDA や OpenCL を用いることが必要であったが、プログラムを大幅に書き換えることが必要となり、その生産性の低さが指摘されてきた。近年ではアクセラレータのプログラミングを簡易にするために指示文によるプログラミングモデルとして、OpenACC が初の標準仕様として提案された。まず、本研究ではいち早く OpenACC に注目し、OpenACC を CUDA に変換するソース変換コンパイラを研究開発した。CUDA に変換することで NVIDIA ならではの最適化を利用し高性能化ができること示した。また、このコンパイラは同様なソース変換のアプローチで OpenCL に変換し PEZY-SC にも対応した。次に、アクセラレータを持つ並列システム向けに OpenACC と PGAS モデルに基づく指示文仕様である XcalableMP を統合したプログラミングモデル XcalableACC (XACC) のコンパイラを研究開発した。XACC はノード間の通信については XcalableMP を用いることにし、アクセラレータへの演算のオフロードについては OpenACC を採用し統合したモデルであり、この統合によりアクセラレータ間の直接通信も記述可能になる。XACC におけるアクセラレータ間の coarray 通信の提案および通信指示文と coarray の実装を NVIDIA GPU と PEZY-SC 向けを行い、複数のベンチマークやアプリケーションで評価を行った。グローバルビューモデルでは逐次コードに指示文を加えるのみで簡易に記述できること示し、ローカルビューモデル用いた場合は coarray による配列代入文形式で簡易に柔軟な通信を記述できることを示した。

審査の要旨

【批評】

本論文は、まず、アクセラレータ向けのコンパイラの研究として、OpenACC コンパイラの研究開発に取り組んだ。このコンパイラは、OpenACC のプログラムを NVIDIA 社が提供する CUDA に変換するソース変換コンパイラで、このアプローチをとることにより GPU メーカー特有の最適化が間接的に利用できる。実際、その他のメーカー製のコンパイラと比較し、このコンパイラがいくつかのベンチマークにおいては性能が高いことが示されていることは、興味深い。また、このソース変換のアプローチは容易に OpenCL にも対応でき、OpenCL の方言である PZCL をプログラミングモデルとして提供している PEZY-SC にも対応できた。また、この開発を開始した当時は研究の基盤として使える OpenACC のコンパイラはなく、現在、アクセラレータのプログラミングモデルとして OpenACC は多くのユーザーに使われており、これをいち早く開発を行った先見性とその実装能力について評価したい。また、この開発が、次の XcalableACC の研究開発のベースとなった。

次に、OpenACC と PGAS(Partitioned Global Address Space)モデルに基づく指示文仕様である XcalableMP を統合したプログラミングモデル XcalableACC (XACC) のコンパイラを研究開発した。なお、XcalableACC の仕様策定については、JST の CREST プロジェクトで行われ、著者もその設計について貢献している。本研究においては、実際に XcalableACC のコンパイラを NVIDIA 社の GPU と PEZY-SC 向けに設計・実装し、それをを用いて複数のベンチマークやアプリケーションで評価を行い、生産性と性能両面において、その有効性について検証しており、高く評価できる。単に、仕様に基づく実装だけでなく、詳細な性能解析から、XcalableACC の仕様の改善案も提案しており、これについてはこれからの仕様に反映されるであろう。いくつかのアプリケーションについては評価しているが、これから OpenACC あるいは XcalableACC とともに多くのアプリケーションの開拓が必要であり、これからの展開に期待したい。

これからの高性能システムにおいては、性能および消費電力あたりの性能を向上させることを目的に CPU のみならず、いろいろな形態のアクセラレータが搭載されることが想定されるが、本研究はそのような高性能システムに生産性が高く汎用的なプログラミングモデルとコンパイラ基盤を与えるものと高く評価できる。

【最終試験の結果】

平成 30 年 2 月 5 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。