

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	System Software Studies for Seamlessly Overcoming GPU Resource Limitations
著者(和文)	MARKTHUBPAK
Author(English)	Pak Markthub
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10943号, 授与年月日:2018年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:松岡 聡,遠藤 敏夫,脇田 建,額田 彰,横田 理央
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10943号, Conferred date:2018/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	MARKTHUB Pak		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	松岡 聡	特任教授		横田 理央	准教授
	審査員	遠藤 敏夫	教授	審査員		
		脇田 建	准教授			
		額田 彰	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「System Software Studies for Seamlessly Overcoming GPU Resource Limitations (GPU 資源制約をシームレスに克服するためのシステムソフトウェアの研究)」と題し、GPU を含むヘテロジニアス HPC システムにおける 2 つの普遍的な課題に対して考察および解析を行い、さらにこれらの問題を解決するための汎用的かつ高効率なシステムソフトウェアを提案するものである。本論文は英文で全 8 章から構成されている。

第 1 章では、GPU HPC システムにおける 2 つの普遍的な資源制約の課題である「GPU メモリ容量の不足」および「GPU 資源の断片化」について高度な問題提起を行っている。さらに、これら 2 つの課題を解決することの意義と提案手法 DRAGON・mrCUDA・MRQ の概要を述べている。

第 2 章では、本論文の内容を理解するために必要な研究背景について述べている。具体的には、GPU メモリ容量の不足問題とそれに対する提案手法 DRAGON を理解するために必要な GPU および CUDA プラットフォーム、Unified Memory、GPU におけるページフォルト機構、不揮発性メモリについて説明している。また、GPU 資源の断片化問題とそれに対する提案手法 mrCUDA、MRQ に関する議論を補強するために、計算資源共有システムやジョブスケジューリングについての概要を述べている。

第 3 章では、前述の 2 つの課題を解決するための重要な先行研究の概要を述べている。また、これらの先行研究の問題点を考察することで、課題解決のためにはより有効な手法が必要であることを示している。

第 4 章から第 5 章にかけては、GPU メモリ容量の不足問題に関する研究動機を述べ、提案手法である DRAGON フレームワークを説明している。DRAGON は不揮発性メモリ (NVM) 上に配置された大規模データにアクセスするさまざまな GPGPU アプリケーションに対し、透過的かつ完全なデータアクセス手段を提供する。DRAGON は GPU のページフォルト機構を活用して Unified Memory の機能を拡張することで、NVM 上のテラバイト級のデータに対して透過的なアクセスを可能とする。第 4 章では DRAGON の構造およびその動作、特に POSIX I/O および Unified Memory を用いた最適化について述べており、DRAGON を導入した場合の評価を行うことによって、ベースラインと比較してオーバーヘッドが 10%以下であることを示している。さらに、8 個のベンチマークアプリケーションおよび一般的な深層学習フレームワークである Caffe を用いた 2 つの事例について評価を行っている。

第 5 章では、DRAGON の性能面での欠点を考察し、その設計を再考している。具体的には、この性能低下に対して 2 段階のプリフェッチを用いた直接的なページキャッシュへのアクセス手法を提案している。さらに、この新しい機構に基づいた新たな最適化手法を提案している。また、第 4 章と同様のベンチマークおよび事例の評価を行った結果、ベースラインと比較して最大 2.3 倍の性能向上を達成したことを示している。

第 6 章では、2 つ目の課題である GPU 資源の断片化についてその詳細を述べ、この問題を解決するために GPU のリモート実行とマイグレーションが必要であることを述べている。具体的には、はじめに rCUDA の概要および rCUDA のオーバーヘッドの詳細な解析について述べ、次にこの性能低下を解決するミドルウェアである mrCUDA を提案している。mrCUDA はリモートで実行している GPU をローカルノードにマイグレーションするためのミドルウェアであり、ローカルの GPU が利用可能になった際に GPU を

リモート実行し続ける場合の不必要なオーバーヘッドを解消することができる。また、数理的・実社会的なアプリケーションを例とした mrCUDA のオーバーヘッドの詳細な解析を行っている。

第7章では、GPU資源の断片化問題に対する直接的な解決案を提示している。具体的には、rCUDA および mrCUDA をジョブスケジューリングアルゴリズムに統合する簡潔な手法 MRQ を提案し、first-come-first-serve (FCFS) スケジューリングを用いた場合の提案手法の有効性を検証している。仮想の、または実際のワークロードに対してシミュレーションを行うことにより、さまざまな状況について考察を行っている。

第8章では本論文の総括を述べるとともに、本研究をより発展させる今後の方向性を示している。

以上のように、本研究は GPU を含むヘテロジニアス HPC システムにおける2つの普遍的な課題に対して考察および解析を行い、さらにこれらの問題を解決するための汎用的かつ高効率なシステムソフトウェアについて提案し、またその有効性を確認しており、理学上貢献するところ大である。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値があるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。