

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	㊶／乙第 号	氏 名	鈴木 勇介
論文審査担当者：			
	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 河野 健二
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 山崎 信行
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 松谷 宏紀
		九州工業大学教授	博士（理学） 光来 健一
<p>学士(工学), 修士(工学)鈴木勇介君の学位請求論文は, 「Making GPUs First-Class Citizen Computing Resources in Multi-Tenant Cloud Environments (マルチテナントなクラウド環境下での GPU の第一級計算資源としての抽象化)」と題し, 全 6 章で構成されている。</p> <p>Graphic Processing Unit (GPU) は, グラフィックスに限らず汎目的計算 (GPGPU) にも用いられる並列性の高い計算資源となっており, サーバサイドワークロードにおいても利用されるようになっていいる。GPU の計算性能は向上し続けており, GPGPU アプリケーションをクラウド環境で集約し, より効率的に GPU を利用することが望まれている。GPU を第一級の計算資源として抽象化することで, 集約などを含め, 計算資源として柔軟に利用することができるようになる。しかし, GPU の仮想化に関する先行研究では, GPU の仮想化手法それぞれのトレードオフは明らかにされていない。本論文では, これまで実現されていなかった完全仮想化の設計及び実装を示し, 他の手法とのトレードオフを明らかにしている。また完全仮想化手法の限界として, 細粒度のスケジューリングができないことを指摘し, アプリケーションから支援を受けることで細粒度のスケジューリングを可能にする手法を提案している。本論文で明らかにしたトレードオフおよびボトルネックは, クラウド提供者が仮想化手法を選択する際や, 将来の GPU の設計において有用である。</p> <p>第 1 章では, クラウド環境における計算資源としての GPU の抽象化の必要性及び現状について論じ, 本論文の目的と論文の構成について述べている。</p> <p>第 2 章では, GPU の機能, 用語, 及びオペレーティングシステムから見た GPU のインターフェースを示している。</p> <p>第 3 章では, これまでの GPU の仮想化手法を, 抽象化を行うレイヤごとに分類して述べている。それぞれのレイヤに応じて利点, 欠点がある一方, 完全仮想化手法のトレードオフが明らかにはなっていないことを示している。また, 近年用いられるようになってきた, GPU eater と分類されるアプリケーションに対して, 既存の手法では細粒度のスケジューリングを行うことができないことを示している。</p> <p>第 4 章では, GPU の完全仮想化手法について述べている。GPU が提供する機構を用いて GPU 資源を仮想化し, 仮想 GPU 間でアイソレーションを実現する設計を示し, その実装手法も示している。その上で, 完全仮想化手法のボトルネックを分析し, その最適化手法, およびボトルネックを取り除く準仮想化手法を提案している。これらの手法の比較評価を行い, 完全仮想化が非常に大きなオーバーヘッドを示すこと, 本論文で示した最適化手法が効果的であり, オーバーヘッドを低減させる一方, 最大 5113% のオーバーヘッドを示すこと, より抽象度の高いインターフェースを用いた準仮想化手法を用いると, そうしたボトルネックを取り除くことができ, 非仮想化時に対してそのオーバーヘッドを -3% ~ 9% に抑えることができることを示している。</p> <p>第 5 章では, 完全仮想化を含め, 既存の手法では細粒度のスケジューリングを行うことができない GPU eater に対し, アプリケーションからの支援を用いてスケジューリングを行う手法を提案している。GPU カーネルに軽量のスケジューリングポイントを挿入できるフレームワークを提案・実装し, 8 つの GPU eater をそのフレームワーク向けに移植している。これらを用いて評価を行い, ツールスタック上の制約から最適化ができないものを除き, -0.2%~7.3% のオーバーヘッドに収まること, GPU eater をスケジューリングポリシーに沿ってスケジュールできることを示している。</p> <p>第 6 章では, 本論文で得られた成果をまとめており, 第 4 章と第 5 章で得られた結果から明らかとなったトレードオフ, および今後の可能性について述べている。</p> <p>以上, 本論文はマルチテナントなクラウド環境での GPU の資源仮想化手法の今後の進展にとって重要な成果であり, その貢献は工学上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査委員で試問を行い, 当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また, 語学 (英語) についても十分な学力を有することを確認した。</p>		