

## 論文の内容の要旨

論文題目 I/Oデバイスの分離アーキテクチャに関する研究

氏名 鈴木 順

今日のデータセンターでは、ネットワークを介して大規模なクラウドサービスを提供するため数万台に及ぶ計算機が運用されている。そのためデータセンターを効率的に運用し社会に高度なサービスを提供するには、計算リソースの効率的な利用が重要である。近年、データセンターにおいて大容量のデータ処理を高速に行う目的からGraphics Processing Unit (GPU)やNon-Volatile Memory Express (NVMe)等のアクセラレータが注目されている。これらのI/Oデバイス型のアクセラレータは、計算機のI/Oスロットに挿入し計算機に占有されて用いられる。そのため計算機が処理するプログラムがアクセラレータを用いない場合、アクセラレータの稼働率が低下しリソースの利用が非効率になる。また、多数のアクセラレータを確保してデータ処理を行うには、Central Processing Unit (CPU)が不要でもアクセラレータを確保するために計算機ごと占有する必要がある。そこで本論ではI/Oデバイスを計算機から分離し、必要に応じて計算機に柔軟に割り当てることで計算リソースを効率的に使用する技術を提案する。

本研究では大別して2つの方式を提案する。1つ目はイーサネットを用いてI/Oデバイスを計算機から分離し、I/Oデバイスのリソースプール化を実現する、ネットワークによるI/Oデバイスの分離方式である。2つ目は分離した複数のGPUを用いた計算を最適化し、用いるGPUの数に応じた高い計算性能を実現する、分離した複数の計算アクセラレータを用いた計算の最適化方式である。

ネットワークによるI/Oデバイスの分離方式では、ハードウェアブリッジの仮想化によりプール化したI/Oデバイスをイーサネットに接続し、I/Oデバイスを必要に応じて任意のホストに柔軟に割り当てるアーキテクチャを明らかにする。また当該アーキテクチャにより既存のOperating System (OS)、デバイスドライバ、イーサネット、及びI/Oデバイスを変更せずにI/Oデバイスをプール化する。更にプロトタイプを用いた実証では、今日データセンターで用いられている汎用I/Oデバイスが、当該方式により低い性能オーバーヘッドでホストから分離できることを示す。またI/Oデバイス分離のオーバハ

ッドを低減するため、複数のI/Oパッケージを適応的に集約しイーサネットにカプセル化する拡張方式を明らかにする。当該拡張方式により、イーサネットの帯域がI/Oデバイスの性能ボトルネックとなる場合に複数のI/Oパッケージが集約され、ボトルネックを緩和することを示す。

また2つ目の分離した複数の計算アクセラレータを用いた計算の最適化方式では、大容量のデータを複数のGPUを用いて処理する際に発生するOut-of-Core処理の計算を最適化する方式を明らかにする。GPUを用いたOut-of-Core処理ではGPUのデータスワップに関するデータI/Oが性能ボトルネックとなることを示し、性能ボトルネックを緩和するためにGPUへのデータI/O量の最小化と、GPUのI/Oリソースを常に稼働させるデータプリフェッチを同時に実現する方式のアーキテクチャを示す。また当該アーキテクチャを実現するミドルウェアのアーキテクチャを明らかにする。また当該方式を検証するプロトタイプを作成し、当該方式が従来方式よりGPUの演算リソースを有効に活用し、用いるGPU数に応じて高い計算性能を実現することを示す。さらに計算シミュレーションを用いて当該方式のヒューリスティック手法が実現する計算時間と理想的な最適化の計算時間を比較することで当該方式の性能を示す。さらに、当該最適化方式をネットワークによるI/Oデバイスの分離方式に適用し、I/Oデバイスの分離方式を用いることで従来の計算機システムを効率化できる適用領域を明らかにする。