

審査の結果の要旨

氏名 鈴木 順

本論文は「I/O デバイスの分離アーキテクチャに関する研究」と題し、計算機システムで I/O デバイスをホストから分離し、複数のホストと共有することで効率的なリソースの運用を実現する I/O デバイスの分離方式を提案すると共に、当該分離方式に基づく I/O デバイスの分離アーキテクチャの構成法を明らかにし、試作実装を用いた性能評価実験によりその有効性を論じており、7 章から構成される。

第 1 章は序論であり、本研究の背景および目的について概観し、本論文の構成を述べている。

第 2 章は「関連研究」と題し、I/O デバイスの分離方式ならびに I/O デバイスの分離アーキテクチャの構成法に関する研究に関して、現時点までに提案されている手法の特徴をまとめると共に、本論文において提案する手法との違いを明らかにしている。

第 3 章は「ネットワークによる I/O デバイスの分離方式」と題し、イーサネットを用いてホストから I/O デバイスを分離する方式を提案している。従来の計算機アーキテクチャでは I/O デバイスは個別のホストに占有されて用いられるためハードウェアのリソースの利用が非効率となることを示している。そして、提案する方式によりホストと I/O デバイスを分離し、I/O デバイスのリソースプールとホストをイーサネットで接続し、リソースプールから I/O デバイスを必要に応じてホストに柔軟に割り当てることによりリソースの運用効率が向上可能であることを示している。リソースプールにプール化される I/O デバイスは従来の汎用 I/O デバイスとして利用可能であり、従来の計算機システムで用いられている OS やデバイスドライバ、イーサネットを変更する必要がない点に特徴がある。本方式において I/O デバイスの分離に伴うオーバーヘッドを低減すべく、通信遅延を抑制するイーサネットの輻輳制御を行う等の仮想化の構成法を明らかにすると共に、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おいて、複数の I/O パケットを適応的にイーサネットフレームに集約する適応的なオーバーヘッド低減手法も提案している。

第 4 章は「ネットワークによる I/O デバイスの分離方式の実装と評価」と題し、第 3 章で提案されたネットワークによる I/O デバイスの分離方式を検証すべくホストの I/O バスとイーサネットをブリッジするハードウェアブリッジを実装し、当該デバイスを用いて提案方式が今日データセンターで一般に用いられる SSD, GPU 等のデバイスをホストから低いオーバーヘッドで分離可能であることを明らかにしている。さらに第 3 章で提案した適応的な集約手法が、イーサネットの帯域が接続する I/O デバイスの性能ボトルネックとなる場合、I/O パケットを適応的にイーサネットフレームに集約し、I/O デバイスの性能を向上することを明らかにしている。

第 5 章は「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」と題し、第 3 章で提案されたネットワークによる I/O デバイスの分離方式において I/O デバイスとして GPU を用いた場合、接続する GPU の演算リソースを効率的に使用し、用いる GPU 数に応じて高い計算性能を得る最適化方式を提案している。複数 GPU を協調させて計算性能の向上を図る従来のミドルウェアでは、大容量のデータを処理するアウトオブコア処理においてはデータスワップがボトルネックとなり、GPU のデータ I/O 量を最小化しないことを明らかにしている。即ち、データスワップに関する GPU のデータ I/O 量の最小化が必須であると同時に、I/O バスを有効利用したデータプリフェッチが有効であることを明らかにしている。さらに GPU のデータ I/O 量最小化とデータプリフェッチを同時に実現する、スケジューラの構成法を明らかにしている。

第 6 章は「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の評価」と題し、第 5 章で提案した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をスタンドアロンサーバ及び第 3 章で提案したネットワークによる I/O デバイスの分離方式に適用し、当該最適化方式が従来方式より GPU の計算リソースを効率的に使用し、使用する GPU 数に応じた高い計算性能を実現することを明らかにしている。また当該最適化方式をスタンドアロンサーバとネットワークによる I/O デバイスの分離方式に適用した場合の性能を比較することにより、ネットワークによる I/O デバイスの分離方式を用いた方が従来の I/O デバイスをホストに占有させる計算機アーキテクチャに比べハードウェアの利用が効率的となる適用領域を明らかにしている。さらに当該最適化方式は必ずしも最短の計算時間を保証しないが、取り得るスケジュールの全探索で求めた最短の計算時間と当該最適化方式が実現する計算時間を計算シミュレーションで求めて比較することで当該最適化方式の性能を示し、当該最適化方式は最短の計算時間に近い性能を達成出来ていることを明らかにしている。

第 7 章は結論であり、本研究の成果と今後の課題について総括している。

以上、これを要するに、本論文は計算機システムで I/O デバイスをホストから分離し、複数のホストと共有することによって効率的なリソースの運用を実現する I/O デバイスの分離方式と、当該分離方式に基づく I/O デバイスの分離アーキテクチャの構成法を提案しその有効性を明らかにしており、電子情報学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。