

審査の結果の要旨

氏 名 下 沢 拓

本論文は、今後利用が一般化すると考えられるメニーコアプロセッサを用いた計算機について、二つの形態を想定し、それぞれの環境に対して、既存のオペレーティングシステムを適用した場合に発生するスケーラビリティやキャッシュミスの増加などの問題を明らかにするとともに、これらを緩和する手法を提案し、その有効性を実証したものである。具体的には、最小限のオーバーヘッドでソフトウェアによって計算機の分割管理を行う手法と、オペレーティングシステムのシステムコールの委譲を行う手法を提案し、その設計、実装と評価について述べている。

本論文は 7 つの章から構成される。第 1 章は、序論であり、本研究の背景と問題設定について論じられている。現在のプロセッサの傾向としてはコア数が増大していく傾向にあり、メニーコアプロセッサと呼ばれる多くのコアを持った計算機が今後の主流となると考えられ、その利用方法として、(1)サーバーなどで用いられる単独型と(2)計算機クラスターで用いられるアクセラレータ型を想定している。単独型の場合では既存のマルチコアシステムと同様に、アクセラレータ型の場合では自身で I/O 処理を行うために、ともにオペレーティングシステムが必要である。これらのシステムに対して既存のオペレーティングシステムを適用するに当たっての問題点として、カーネルのスケーラビリティ、カーネルによるキャッシュミス、アクセラレータ型における I/O バスの存在を列挙している。これらを緩和する方法として、計算機の分割をカーネルによって行う SHIMOS と呼ぶ手法、アクセラレータからのシステムコールをホストへ委譲する HIDOS と呼ぶ手法の提案を行っている。

第 2 章は、背景として、本論文の対象としているメニーコアアーキテクチャ及び想定されるアプリケーション、提案しているオペレーティングシステムに対する要件についての議論を行っている。

第 3 章では、単独型向けである SHIMOS の設計と実装について述べている。これは複数のカーネルを一つの計算機上で動作させて分割を行うことにより、全体としてのカーネルのスケーラビリティを向上させるものである。分割によって新たなオーバーヘッドが生じる

のを避けるために、SHIMOSはカーネルを直接修正し、ソフトウェアのみによるオーバーヘッドのない分割を達成している。また、計算機上のデバイスといった資源の共有を行うために、仮想デバイスとそれを実現するためのカーネル間通信機構を提供している。第3章では、分割という手法をとることの問題点の議論とともに、SHIMOSの設計とx86アーキテクチャのLinuxでの実装について記述している。

第4章では、アクセラレータ型に向けた提案手法であるHIDOSの設計と実装について述べている。これは、ホストに既存の汎用オペレーティングシステムを用い、アクセラレータ上でシステムコールをホストに委譲することによって、カーネルによって発生するキャッシュミスやDMAの利用を減らすものである。その際に、I/Oバス間での転送コストを減らすために、DMAの利用を行っている。また、メニーコアアクセラレータのない環境での開発及び評価のために、高速な模擬環境を提供し、実機と模擬環境ともに動作するカーネルとするための抽象化層を設計し、これらのシステムの実装を行っている。

第5章で、第3章と第4章で設計実装を示した提案手法の評価を報告している。SHIMOSにおいては、仮想機械を用いた手法との間で、システムコールやI/Oを用いるアプリケーションを動作させた場合の性能の比較を行っており、提案手法ではオーバーヘッドがないことを示している。さらに、カーネル内でのプロファイリングを使った方法により、SHIMOSがカーネル内での競合を減らし、スケーラビリティを向上させたことを示している。HIDOSにおいては、第4章で提案した模擬環境を用い、並列アプリケーションを用いた実験で、システムコールによるキャッシュミスやDMAの利用を減らしたことを示した。

第6章は、計算機の分割やカーネル間通信、カーネルのスケーラビリティ向上といった側面から関連研究についてまとめている。第7章では、論文全体の内容をまとめ、今後のシステムソフトウェア分野における課題について論じている。

本論文で提案した手法は、メニーコアプロセッサを用いた計算機における問題点を緩和することを明らかにしており、今後の高性能計算機の効率向上に貢献すると考えられる。さらに、カーネル間通信や委譲機構といったソフトウェア基盤技術は、将来にわたり、システムソフトウェアにおいて有用性が期待されるものであり、関連分野の研究に対して貢献があると認められる。

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。