

学 位 論 文 審 査 要 旨 (課程博士)

東京農工大学大学院工学府長 殿

審査委員	主査	並木 美太郎	印
	副査	山井 成良	印
	副査	藤田 欣也	印
	副査	近藤 敏之	印
	副査	山田 浩史	印

学位申請者	電子情報工学 専攻 平成 24 年度入学 学籍番号 12834301
	氏 名 坂本 龍一
申請学位	博 士 (工学)
論文題目	エネルギー予測とハードウェアの効率的な制御に基づく計算機システムの消費電力削減に関する研究
	A Study on Reducing Power Consumption Based on Energy Prediction and Efficient Hardware Control for Computer System
論文審査要旨 (2000 字程度)	
<p>近年、計算機の省電力化を目指し、様々な省電力化技術が研究開発されている。一方で、これらの多くはソフトウェアからの制御を想定しており、アプリケーションプログラマが省電力のための制御を行う必要があり、煩雑である。そこで、本論文ではこれらの煩雑な省電力制御を隠ぺいする、システムソフトウェアについて明らかとし、簡単に省電力化を実現できることを目標とする。省電力な計算機アーキテクチャを提案し、この省電力なアーキテクチャを仮想化するシステムソフトウェアを提案する。また、システムソフトウェアによるストレージの電力モデルを用いた電源制御により、省電力制御の仮想化を行うと同時に、モデルにより省電力な計算機システムの方式を提案した。</p> <p>第 1 章「諸言」では近年の計算機を取り巻く電力要求の問題について示し、計算機の省電力化の重要性を示した。計算機の省電力技術に関する研究は多数行われているが、省電力化のためには、アプリケーションプログラマによる省電力制御が必要であり、省電力制御の単純化が重要であることを述べる。そこで、省電力制御の単純化を目的とし、システムソフトウェアによる電力制御の仮想化と資源管理手法について言及した。</p> <p>第 2 章「関連研究と問題点」では計算機の省電力化に関するプロセッサ、ストレージ、メモリ、回路技術、ソフトウェアの関連研究を調査した。また、これらの問題点として、省電力化を実現するためにはアプリケーションプログラマが省電力制御を行う必要があり、煩雑であることを示す。具体的には、省電力プロセッサではプロセッサの特徴を利用するプログラミングが必要であり煩雑であることを示す。さらに、省電力ストレージ</p>	

においては、省電力機能の特性を考慮した電源制御が重要であることを述べている。

第 3 章「目標と設計方針」では第 2 章の問題分析を踏まえ、システムソフトウェアによる省電力制御の隠ぺいにより、煩雑な省電力制御を単純化することを目標とした。具体的には、パイプライン並列プロセッサの制御の高速化による省電力アーキテクチャを提案し、煩雑なパイプライン並列を単純化するシステムソフトウェアを提案する。また、SSD(Solid State Drive)と HDD(Hard Disk Drive)を組み合わせた環境において、HDD の省電力機能とエネルギー予測を用いたストレージの省電力化を行うシステムソフトウェアを提案することを本論文の目的とした。

第 4 章「パイプライン並列プロセッサの省電力化と並列ライブラリ実行環境」では、電力性能に優れたパイプライン並列プロセッサの実行環境におけるアーキテクチャ改善による省電力化と、システムソフトウェアによるパイプライン並列制御の単純化について示す。オンチップマルチコプロセッサにおいて、プロセッサ間でデータを受け流すパイプライン並列はメモリの利用効率が高く電力効率が高い特徴を持つ。一方で、パイプライン並列は個々のプロセッサ、メモリ、データ転送をそれぞれ制御する必要があり、これらの実行制御が時間的にオーバーヘッドとなる。また、パイプライン並列制御が複雑となる。そこで、制御オーバーヘッドの高速化を実現するアーキテクチャと制御を単純化する OpenCL ライブラリを提案した。これにより、パイプライン並列制御を抽象化し、高速化による省電力化と実行制御の単純化を実現した上で、評価では実行制御の高速化により 5 割程度エネルギー効率を改善できたことを示している。

第 5 章「省電力プロセッサ向け電力計測環境の設計と実装」では 4 章で述べたパイプライン並列プロセッサの電力評価環境について述べている。システムソフトウェアからの省電力制御を考慮した省電力化のための計算機アーキテクチャ向けの電力評価環境を示す。そのために、電力センサを介して直接消費電力を観測できる電力評価環境の設計と実装を示す。さらに、計測対象である省電力プロセッサからも自身の消費電力を計測するための機構について示した。合わせて、プロセッサに対する電源電圧制御を実現するための構成について示している。

第 6 章「SSD を HDD のディスクキャッシュとして用いる省電力ストレージ」では電力性能と速度性能に優れた SSD を HDD のキャッシュとして利用するシステムにおける省電力化手法について示した。プロファイリングと電力モデルにより HDD と SSD の電力性能を予測し、予測にて省電力化が可能な際に HDD をスピンドアウンすることで HDD の消費電力を大きく低下させる。評価では、HDD 単体で利用した場合と比較し、平均で 21 倍のエネルギー効率の向上を実現した。

第 7 章「結言」では本論文の目的である、システムソフトウェアによる省電力制御の隠ぺいによる、省電力制御の単純化を達成したことを述べる。また、今後の課題として、パイプライン並列向け OpenCL 環境と電力モデルを用いた省電力化の適用可能性について示して結論付けている。

以上、本論文は、計算機システムにおけるプロセッサとストレージについて、システムソフトウェアによりハードウェアの電力制御を行い、電力性能の仮想化を行う方式を提案した。特に、OpenCL によるパイプラインプロセッサの仮想化と制御用ハードウェアによる高速化を用いた省電力化、SSD を HDD のキャッシュとして使い、HDD をスピンドアウンすることにより電力削減を行う方式提案は、新規性、独創性および有用性が認められ、博士(工学)の学位論文として合格と判定する。