

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第	号
------	-------	---

氏 名 秦 洋

論 文 題 目

Energy-Aware Task Allocation Exploration in Hard Real-Time Embedded Systems

(ハードリアルタイムシステムにおける低消費エネルギータスク割り当て手法)

論文審査担当者

主 査 名古屋大学教授 高田 広章

委 員 名古屋大学教授 石原 亨

委 員 名古屋大学准教授 松原 豊

委 員 名古屋大学講師 曾 剛 (工学研究科)

## 論文審査の結果の要旨

秦洋君提出の論文「Energy-Aware Task Allocation Exploration in Hard Real-Time Embedded Systems (邦題：ハードリアルタイムシステムにおける低消費エネルギータスク割り当て手法)」は、ヘテロジニアスマルチプロセッサを用いて構築されたハードリアルタイムシステムを対象として、消費エネルギーを最小化するタスク割り当てに関する一連の研究をまとめたもので、6章で構成される。

第1章は序論であり、近年の組込みシステム向け SoC のトレンドとして、消費電力の大きい高性能プロセッサと性能の低い省電力プロセッサを組み合わせたヘテロジニアスマルチプロセッサ構成がとられることが多いことを述べ、DVFS (Dynamic Voltage Frequency Scaling) などの消費エネルギー削減手法について説明している。また、本論文で取り組んでいる課題について述べ、本論文の構成と貢献についてまとめている。

第2章は準備のための章であり、リアルタイムスケジューリング理論と消費エネルギー削減技法について解説している。また、関連研究について紹介している。

第3章では、同一命令セットを持つ高性能プロセッサと省電力プロセッサで構成されるヘテロジニアスマルチプロセッサを対象に、解析的な手法を検討している。両種のプロセッサにおける実行時間の比は、アプリケーションプログラムによって異なることに着目し、タスク割り当てのヒューリスティクスを提案している。また、ランダムに生成されたタスクセットを用いて、提案手法は、既存手法よりもエネルギー削減効果が大きいことを示している。

第4章では、タスク割り当ての問題の整数線型計画法 (ILP) による解法を検討している。ヘテロジニアスマルチプロセッサを対象に、リアルタイム性を保証しつつ消費エネルギーを最小化するタスク割り当て問題は、既存の ILP 最適化技術では、実用的な規模の問題においては、計算時間がかかりすぎるために最適解を求めることができない。ILP 最適化の途中解を用いることはできるが、その途中解がどの程度良い解であるかがわからない。そこで、計算時間を削減できるようにコアへの割り当て条件を緩めた問題を ILP で解くことで求めた「消費エネルギーの最適化目標値」と比較することで、ILP 最適化の途中解が十分に良い近似解を得ていることを確認する手法を提案している。また、提案手法を、マルチプロセッサ構成も含めて最適化する問題に拡張している。

第5章では、タスク内 DVFS の問題に取り組んでいる。タスクのプロファイル情報に基づいて、タスクを構成する各基本ブロックに、消費エネルギーが最小になるように実行する周波数/電圧を割り当てる問題を、ILP を用いて解く方法を提案している。また、提案手法の有効性を、既存のアプローチと消費エネルギーを比較することで示している。

第6章は結論であり、本論文の成果をまとめるとともに、今後の課題について論じている。

## 論文審査の結果の要旨

以上のように、本論文は、ヘテロジニアスマルチプロセッサを対象に、リアルタイム性を保証しつつ消費エネルギーを最小化するタスク割当て手法ならびにタスク内 DVFS 手法を提案し、いずれにおいても有効な成果を挙げている。提案した技術や発見した知見は、いずれも、学術的な新規性に加えて実用性も高いものであり、情報学の学術上・技術上の寄与が大きい。よって、本論文提出者、秦洋君は、博士（情報学）の学位を受けるに十分な資格があるものと判定した。