

主論文審査の要旨

《本文》

デジタルカメラや携帯電話などのコンシューマ機器向け組込みシステムでは画像処理や音声処理等の機能を実現する必要があり、機能の高度化・複雑化に伴って処理の高速化に対する要求が増している。しかし、パソコンに搭載するような高速マイクロプロセッサは動作周波数が高く、消費電力の観点から利用できない。一方、動作周波数の低い組込み用マイクロプロセッサだけでは要求性能を満たすことが難しい。このため、最近では組込み用マイクロプロセッサとメディア処理用アクセラレータとして専用ハードウェアを搭載することが一般的となっているが、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) のような専用ハードウェアはプログラマビリティがなく柔軟性に欠ける。

このような背景の下、本論文ではコンシューマ機器向け組込みシステムのプログラマブルなアクセラレータとして超並列細粒度 SIMD (Single Instruction Multiple Data) 型プロセッサに着目している。本論文では、高度な並列化による性能向上を目的として細粒度演算による処理の最適化を実現する高性能実装を提示するとともに、性能をさらに引き出すための新たなアーキテクチャを提案して、その有効性を示している。

本論文は全 6 章から構成されている。

第 1 章では、本論文の研究背景と目的が述べられている。

第 2 章では、並列コンピュータの構成について述べ、関連用語を定義している。そして、SIMD 型アーキテクチャの特徴と問題点を明確にした後、本研究の主旨を以下のように位置づける。

- ・ 並列性と演算効率の向上を目的としたアプリケーション実装
- ・ 並列性向上のためのアーキテクチャの提案
- ・ SIMD 型プロセッサ向けの効果的なアプリケーション設計支援環境の構築

第 3 章では、ビットシリアル演算器を多数搭載した株式会社ルネサステクノロジ製の超並列細粒度 SIMD 型プロセッサコア (MX コア) を対象に、並列性の向上と演算の効率化を目的としたアプリケーション実装を行っている。演算を行う PE (Processing Element) の処理能力は高々 2 ビットであるが、1,024 個の PE が並列に動作することで高速処理を実現している。評価アプリケーションとして、JPEG2000 エンコーダ、MP3 デコーダ、RSA 暗号化、アントコロニー最適化法を題材として、組込みプロセッサ M32R のみで動作させた場合と比較して最大で約 30 倍の高速化を達成した。

第 4 章では、前章においてアプリケーション実装のボトルネックとなった構造上の問題を改善するために、並列度の向上および演算効率の改善を目的とした新たなアーキテクチャの提案を行った。SIMD 型アーキテクチャでは各 PE が異なる動作を行う場合、並列性が得られず、性能低下の要因となる。そこで、並列性の向上を目的とした

2種類のアーキテクチャを提案している。第一のアプローチでは、PE間データ転送および演算処理に着目したMIMD (Multiple Instruction Multiple Data Stream)化を提案した。複雑なデータ転送処理の場合でもPEの稼働率がほぼ100%で動作させることで、処理の高速化を達成する。論理エミュレータとして用いた結果、従来アーキテクチャと比較して演算回数を半分以下に抑えることが可能となった。また、第二のアプローチでは、演算粒度可変PEアーキテクチャを提案した。粒度可変PEアーキテクチャの評価結果ではリソースの増加と遅延を抑えて演算効率を向上することが可能であることを示し、これら提案アーキテクチャが有効であることを実証した。

第5章では、アプリケーション実装における設計期間の短縮および最適な実装を支援するために、PE間データ転送経路の最適解の導出、アプリケーション実装における並列化トランスレータの開発、および設計支援環境の構築を行った。C言語で記述されたプログラムからターゲットデバイスに向けた並列性を抽出するトランスレータを含めた設計支援環境を構築して、アプリケーション実装の期間短縮を実現し、設計支援環境の有効性を示した。

最後に、本論文で得られた研究成果を第6章で総括している。

以上のように、本論文の内容は、コンシューマ機器向け組み込みシステムの柔軟性に富むアクセラレータとして超並列細粒度SIMD型プロセッサを対象に高性能実装を行い、得られた知見から新たなアーキテクチャを提案するとともに設計支援環境を構築し、実装実験によりその効果を明らかにして実用性を示している点で工学的に価値の高いものである。また、これらの研究成果の主要部は、審査付き学術雑誌論文1編、審査付き国際会議論文2編、ならびに国内会議講演論文5編で公表している。よって本審査委員会は、本論文が博士(工学)の学位授与に値する論文であると判断した。

最終試験の結果の要旨

審査委員会は、学位論文提出者に対して当該論文の内容ならびに関連分野の事項について試問を行った。その結果、学位論文提出者は、当該の研究分野及び関連分野について十分な知識と理解力を示し、研究遂行能力を有していると判断した。また、外国語に関しては、論文業績の中で2編の国際会議での発表が示されており、十分なレベルの能力があると認めた。以上の結果に基づいて、審査委員会は最終試験を合格と判定した。

審査委員	情報電気電子工学専攻	先端情報通信工学講座担当教授	末吉 敏則
審査委員	情報電気電子工学専攻	先端情報通信工学講座担当教授	趙 華安
審査委員	情報電気電子工学専攻	人間環境情報講座担当教授	井上 高宏
審査委員	情報電気電子工学専攻	先端情報通信工学講座担当准教授	久我 守弘
審査委員	情報電気電子工学専攻	先端情報通信工学講座担当准教授	飯田 全広