

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 超並列細粒度 SIMD 型プロセッサにおける高性能実装に関する研究
(Study on efficient implementing
for massively parallel fine grain SIMD type processor)

熊本大学大学院自然科学研究科 情報電気電子工学専攻 先端情報通信工学講座
(主任指導 末吉敏則 教授)

論文提出者 中野 光臣
(by Mitsutaka Nakano)

主論文要旨

《本文》

組込みシステムとは画像処理や音声処理など特定の機能を実現する計算機システムの総称であり、様々な産業機器や家電製品で用いられている。近年のシステムの複雑化に伴い処理の高速化や柔軟性に対する要求が増している。従来のシステムではマイクロプロセッサや専用ハードウェアを搭載することが一般的であった。しかしながら、マイクロプロセッサは、柔軟性を有するものの高速な処理には向かない。また、専用ハードウェアは高速処理が可能であるが、柔軟性の問題により適用分野が限られてしまう。

このような背景から、本研究では超並列細粒度 SIMD (Single Instruction Multiple Data) 型プロセッサに注目している。本プロセッサの特徴としては、単一命令で複数データに対し同時に処理を行うため、構造が単純かつ並列処理に向いている。すなわち、多数のデータを並列処理することにより高速処理を行う。加えて、ビット単位の細粒度演算を用いることで、アプリケーションをデバイスに実装する際の柔軟性が増す。しかし、アプリケーションにて並列性が得られない場合、逐次処理が多くなるため性能低下の要因となる。また、細粒度演算は演算に必要なサイクル数が多くなることから、並列性を上げてスループットを向上させる必要がある。したがって、SIMD 型プロセッサが性能を発揮するには、演算およびデータ転送の並列性が十分に高いことが条件である。本論文では、SIMD 型プロセッサにおける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提案し、その有効性を示す。

本論文は 6 章から成り、第 1 章では本研究の背景と目的について述べる。

第 2 章では、並列コンピュータの構成について述べる。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、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う。ここでは実装デバイスとして、株式会社ルネサステクノロジの超並列細粒度 SIMD 型プロセッサコア (MX コア) を使用する。MX コアは、ビットシリアル演算器を多数搭載した高並列 SIMD 型演算方式のプロセッサコアである。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する。評価には、実践的なアプリケーションである 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用いた。各アプリケーションにおいて、並列性が高い回路を MX コア、その他回路をプロセッサに割当て実装を行った。その結果、組込みプロセッサの M32R のみで動作させた場合と比較して最大で約30倍の高速化を確認できた。

第4章では、アプリケーション実装において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アーキテクチャの提案を行う。SIMD 型アーキテクチャでは各 PE が異なる動作を行う場合、並列性が得られないため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た。まず、第一のアプローチとして 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) 化を提案する。PE 間データ転送部を MIMD 化することにより、各 PE の動作が異なっても同時に転送処理を行うことが可能となる。評価結果より、複雑なデータ転送処理の場合であっても、提案アーキテクチャは PE の稼働率がほぼ100%で動作し、処理の高速化が確認できた。PE 構造の MIMD 化においては、論理演算に限定することにより同期の問題とリソースの増加を抑えている。論理エミュレータとして本構造を用いた結果、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。続く第二のアプローチとして演算粒度可変 PE アーキテクチャを提案する。処理性能、実装効率、およびリソース増加量の観点より3種類の粒度可変 PE アーキテクチャの評価を行った。結果より、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り、提案アーキテクチャは有効であるという結論を得た。

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行うために、SIMD 型プロセッサ向けの効果的なアプリケーション実装方法について検討する。ここでは、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構築について議論する。データ転送の転送経路問題では、問題の定式化および解の導出手法を提案し、従来のアーキテクチャおよび提案アーキテクチャの両方で自動化が可能になった。また、C 言語で記述されたプログラムより提案デバイス用に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た。その結果、アプリケーションの実装期間が短縮可能となり設計支援環境の有効性を確認できた。

最後に、第6章で本研究の成果についてまとめ、今後の課題を述べる。