

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 藤田 元信

半導体集積度の向上によりコンピュータシステムの性能は向上してきたが、その一方で、メモリシステムが隘路となりコンピュータシステムの高性能化を阻害し、また消費電力の増大を招いている問題が指摘されている。本論文は、ソフトウェア可制御メモリを搭載したアーキテクチャを対象とし、コンパイラによる最適化により上記問題を解決する最適化手法の提案とその有効性を実証したもので、「ソフトウェア可制御メモリ向け最適化コンパイラの研究」と題し、7章より構成されている。

第1章は「はじめに」であり、近年顕在化しているプロセッサと主記憶の性能格差の現状とその背景、この問題を解決する手段として現在用いられているハードウェア制御のキャッシュメモリの問題点を整理し、ソフトウェア可制御メモリがこの問題解決に有効であることを示している。もう一方の問題である消費電力増大に関しても、現在と今後の半導体技術の進展状況を示し、今後は消費電力の中でもスタティック消費電力が大きな問題であること、この問題に対してソフトウェア可制御メモリが有効であることを述べている。一方で、ソフトウェア可制御メモリを導入し、プログラム作成者の負担を増やすことなく高性能化と低消費電力化を達成するためにはコンパイラによる最適化が必要であることを述べている。さらに、本論文で提案するコンパイル最適化手法を適用できる対象アーキテクチャの要件を明らかにしている。

第2章では、本論文で提案する最適化コンパイラを適用可能なアーキテクチャの一例として SCIMA (Software Controlled Integrated Memory Architecture) を取り上げ、そのアーキテクチャの特徴、主記憶とのデータ転送について詳説している。まず、本アーキテクチャが性能向上および消費電力削減を達成する原理について述べ、従来のキャッシュ向けの手法と対比して、ソフトウェア可制御メモリの利点を性能面、消費電力面から整理している。

第3章は、「コンパイラによる性能最適化」と題し、提案手法である、「ヒント情報に基づく最適化」について述べている。従来、手動で行われていた SCIMA 向け最適化の問題点を示し、自動最適化コンパイラの必要性について示し、最適化の補助情報として、「ヒント情報」をソースプログラム中に記述するのみで、自動的に最適化を行う枠組みについて述べている。その上で、アーキテクチャの特色をふまえたソフトウェア可制御メモリ利用の最適化戦略を整理し、この最適化戦略とソースコード中に挿入されたヒント情報をもとに、プログラムを最適化するアルゴリズムを明らかにしている。

第4章は、「コンパイラによる消費エネルギー最適化」と題し、特にソフトウェア可制御メモリのスタティック消費電力に着目し、これを削減するための機構について述べ、さらに、スタティック消費エネルギーを最適化する戦略について述べている。まず、スタティック消

費電力の原因であるリーク電流を削減する回路技術として gated-Vdd に着目し、この技術をソフトウェア可制御メモリに適用するための機構を提案している。さらに、ソフトウェア可制御メモリの利用率が、性能と消費電力の両方に影響を与えることを示し、消費エネルギー最小化を目的とした場合のソフトウェア可制御メモリの利用率の決定方法を提示した。また、リーク電流はコンパイル時にはあらかじめ予測できない温度にも左右されるため、プログラム実行中に温度に応じてソフトウェア可制御メモリの利用率を動的に変えることで消費エネルギーを最小化する手法も提案している。

第5章は、「評価」と題し、本論文で提案する性能最適化手法、消費エネルギー最適化手法の評価を行っている。まず評価条件を明示しその根拠を示している。つぎに、性能評価の結果を示し、提案するコンパイル手法により、従来の手動最適化と同様の性能が得られると共に、プログラム作成者の負担が軽減されていることを明らかにしている。さらに、消費エネルギーの評価結果を示し、提案手法が従来のキャッシュメモリを用いた場合に比べスタティック消費エネルギーを効率的に削減できることも明らかにしている。また、プログラム実行中に温度に応じてスタティック消費エネルギーを低減する手法が有効であり、その有効性が今後の半導体微細化によってさらに増すことを示している。

第6章は、「関連研究」であり、本論文の関連研究が示されている。性能向上に関する関連研究として、ソフトウェア可制御メモリの利用法に関する研究はこれまでにいくつかあるが、本論文が提案する手法は、再利用性がない配列または再利用性がある配列のいずれに対しても、扱うデータの再利用性に応じてソフトウェア可制御メモリの利用法を柔軟に変更可能である点、およびヒント情報を導入することでデータの再利用性に応じた最適化をプログラム作成者の負担を増加することなく実現している点が特徴である。また、消費エネルギー削減に関する関連研究として、キャッシュメモリを対象とする手法に触れ、データ配置を把握できるソフトウェア可制御メモリにおける最適化手法の優位性を述べている。

第7章は「結論」であり、本論文のまとめが述べられている。

以上要するに、本論文は、ソフトウェア可制御メモリを対象として、性能と消費エネルギーを最適化するコンパイル手法を提案しその有効性を示しており、これによりコンピュータシステムのさらなる高性能化と低消費電力化を実現する方法論を提示したものであって、システム情報学の発展に寄与すること大であると認められる。

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。