

氏名	津 邑 公 暁
学位の種類	博士 (情報学)
学位記番号	情博第 118 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	情報学研究科通信情報システム専攻
学位論文題目	再利用および並列事前実行による既存プログラム高速化の研究

論文調査委員 (主査) 教授 富田 眞 治 教授 湯 淺 太 一 教授 岩 間 一 雄

### 論 文 内 容 の 要 旨

従来、既存プログラムに対する高速化手法としては、命令レベル並列性に依存する手法が多く研究されてきた。例えばスーパースケラやメディア演算命令などはその例である。しかし、実際に存在するプログラムの多くは明示的な命令レベル並列性を持たず、単純にこれらの手法を適用することができない場合が多かった。本研究では、命令レベル並列性ではなく、プログラムの値の局所性に着目した高速化手法である、再利用を用い、既存プログラムの高速化を図っている。一般にプログラム中では関数やループと言った、再利用対象となる命令区間は多重構造をなしているため、まず本研究では再利用をこのような多重命令区間に適用する手法を提案している。また、本来再利用による効果が得られない、入力が一変化するようなプログラムに対して、並列事前実行という、再利用を核とした投機的マルチスレッディング機構を提案し、高速化を図っている。さらに、オーバヘッドとなる再利用テストを削減する手法を提案し、その有効性を明らかにした。本論文は全 7 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的、本論文の構成について述べている。

第 2 章では、本研究の背景となる、再利用、投機的マルチスレッディング、事前実行、および投機と再利用の組み合わせによる従来研究についてまとめ、本研究との違いや本研究の位置付けを明らかにしている。

第 3 章では、本研究の中心となる再利用について説明し、それを実現するための機構について詳しく述べている。また、SPARC ABIに基づいて、対象とする命令区間の入力を主記憶上で識別する方法について詳述し、単一の関数を対象とする場合、および単一のループを対象とする場合の再利用手順について説明している。また、これを発展させ、多重構造を形成する命令区間を対象とした場合の再利用の適用手法を提案している。これにより、プログラム実行の際に、命令区間の内に含まれる全ての命令区間に関しても入出力セットの記憶が行えるようになり、再利用による効果を向上させることができることを示している。

第 4 章では、本論文が提案している、再利用を用いた非対称な投機的マルチスレッディング機構としての並列事前実行について述べている。命令区間の入力が一変化する場合、一般には再利用による効果が得られないのに対し、この並列事前実行により、その問題が解決できることを示している。また、再利用表が投機実行と通常実行の間の、多対一の効率のよいデータ引き継ぎ構造として働くことを示し、一対一のデータ引き継ぎ構造しか持たない従来の投機的マルチスレッディングよりも優れていることについて述べている。この並列事前実行を構成するための機構およびその動作についても詳述している。また、Stanford ベンチマークを用いて評価を行い、有効性を確認した。

第 5 章では、高速化手法としての再利用の有効性を示すため、現実的なメディア処理プログラムに対して再利用を適用して評価を行い、メディア演算命令を用いた場合との速度比較を行っている。具体的にはステレオ画像処理プログラムにおける距離画像抽出を対象とし、削減サイクル数および必要となるハードウェア量の両点から、メディア演算命令と再利用との比較を行っている。命令レベル並列性を持たないプログラムに適用可能である再利用が、メディア演算命令と同程度のハー

ドウェア量で、メディア演算命令と同程度の効果をもたらすことを示している。また、再利用対象とする関数の入力マッチングに寛容性を持たせる曖昧再利用を適用した場合についても評価を行っており、出力に与える影響をわずかに抑えつつ、再利用率を効果的に上げることができることを確認し、メディア演算に有効であることを示している。

第6章では、従来の再利用機構における問題点として、再利用テストのコストの大きさに着目し、従来の再利用率を維持したまま、再利用テスト、特に命令区間の入力としての主記憶値比較を削減する手法を提案している。従来手法および、投機的マルチスレッディングで一般的に用いられる無効化による手法を比較対照とし、提案手法について詳述している。書き換えのあった可能性のあるアドレスに関してのみ、主記憶参照および入力比較を行うことで、提案手法だけが従来の再利用率を維持しつつ再利用コストだけを削減することが可能な手法であることを示している。提案手法および比較手法の全てをシミュレータ上に実装し、SPEC95を用いて評価を行い、提案手法が最も優れていることを示している。

第7章は結論であり、本研究で得られた主要な成果について要約している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、命令レベル並列性に依存せず、既存プログラムを高速化する手法に関する研究成果をまとめたものであり、多重命令区間に再利用を適用する方法、および新しい投機的マルチスレッディングの枠組みとなる並列事前実行を提案するとともに、さまざまなベンチマークや現実的なメディア演算プログラムを用いた評価により、その優れたパフォーマンスを明らかにしている。得られた主要な研究成果は次の通りである。

- (1) 一般にプログラム中では、命令区間は多重構造を形成しているため、再利用を多重命令区間に適用可能とする手法を提案した。これにより、多重構造をなす命令区間を実行した際に、その内に含まれる全ての命令区間に関しても入出力セットの記憶が行えるようになり、再利用による効果を向上させることができることを示した。
- (2) 命令区間の入力を予測し、通常実行プロセッサと並行して、その入力に基づく実行を投機実行プロセッサに行わせる、並列事前実行を提案した。通常の再利用では命令区間の入力が単調変化する場合に全く効果が得られないが、並列事前実行により、このような場合でも効果を上げることができる。また、並列事前実行では再利用表が投機実行と通常実行との間の多対一のデータ引き継ぎ構造として働き、一般にデータ引き継ぎを一對一で行う投機的マルチスレッディングよりも有効な手段となる。シミュレーションにより、提案手法の有効性を確認した。
- (3) ステレオ画像処理における距離抽出を用いて、メディア演算命令と再利用の比較を行い、現実的なプログラムにおける再利用の有効性を示した。必要ハードウェア量についても検証を行い、メディア演算命令と同程度で再利用機構を構成することができることを確認した。また、再利用対象となる関数の入力の一一致テストに寛容性を持たせる曖昧再利用についても評価を行い、メディア処理においては結果に及ぼす影響を抑えつつ再利用率を引き上げることができることを示した。
- (4) 再利用のオーバーヘッドとなる、再利用テストにおいて、特に命令区間の入力に主記憶参照が含まれる場合に、それを削減する方法を提案した。従来手法および投機的マルチスレッディングで一般的に用いられる無効化手法の問題点を挙げ、書き換えのあった可能性のあるアドレスのみに関して比較を行う本手法の有効性を確認した。従来手法および無効化手法と併せて評価を行い、本手法のみが再利用率を低下させることなく、再利用テストのコストを削減できる手法であることを示した。

以上要するに本論文は、命令レベル並列性を持たないプログラムに対する、再利用および並列事前実行を用いた高速化手法を提案するとともに、それらの有用性を明らかにしたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年2月18日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。