

# 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 崔 珉誠

本論文は、帰納的なシミュレーション・ポイント選出手法に関する研究 と題し、和文で 7 章から成る。プロセッサのシミュレーションは、アーキテクチャ研究・開発の基礎であるが、実行に極めて長い時間がかかるという問題点がある。そこで実際にはベンチマーク・プログラムのごく一部のみをシミュレーション・ポイントとして選出し、それらのみをシミュレーションした結果から、Instruction Per Cycle (IPC) をはじめとする性能指標を推定するサンプリング・シミュレーションが行われている。サンプリング・シミュレーションにおいては、より少ない抽出率でより低い推定誤差を達成するシミュレーション・ポイントを選出することが重要である。選出には、プログラム・フェーズの概念が用いられる。

SimPoint をはじめとする既存の選出手法は、プログラム・カウンタ (PC) を基礎とする演繹的な手法である。これらの手法は、プログラムの PC が同じ部分を実行している区間は同じフェーズであるという仮定に基づくものである。推定対象のプログラムを事前にエミュレーションすることによって、PC の系列を得る。得られた PC に基づいてプログラムの各区間をクラスタリングし、同一のクラスタにクラスタリングされた区間を同じフェーズとみなす。しかし、この仮定には反例がある。たとえば、まったく同じコードであっても、処理するデータ量に応じてキャッシュ・ヒット率が変化し、IPC に大きな影響を及ぼすことがある。

そこで本論文では、PC を基礎とする演繹的な方法ではなく、IPC を基礎とする帰納的な手法を提案する。

第 1 章「序論」は、研究の背景、目的を述べるとともに、本論文の構成についてまとめたものである。

第 2 章「シミュレーション・ポイント選出手法」は、背景知識として、シミュレーション・ポイント選出の代表的な手法である SimPoint や、そのその他の手法についてまとめる。

第 3 章「帰納的なシミュレーション・ポイント選出手法」は、提案手法を理解するための導入から始め、基本的な手法について詳しく述べる。この手法は、特徴的なマイクロアーキテクチャを持つ複数のプロセッサのいずれもが同じ IPC を示す区間が同じフェーズであるという仮定に基づく。この手法の手続きは、以下のとおりである。まず、特徴的なマイクロアーキテクチャを持つ複数のモデ

ルを事前にシミュレーションし、区間ごとの IPC の系列を得る。そして、得られた IPC に基づいて各区間をクラスタリングし、同一のクラスタにクラスタリングされた区間を同一のフェーズとみなす。各クラスタから代表点を一つ選び、それをシミュレーション・ポイントとする。

第 4 章「帰納的な選出手法の改良」では、第 3 章で述べたの基本的な手法に対する、以下の三つの改良手法について述べる。すなわち、① キャッシュ容量によって生じるフェーズに対応する超多階層キャッシュを持つ基底モデル、② 事前シミュレーションにかかる時間を削減するエミュレーションをベースとする基底モデル、③ ベンチマークに含まれるすべてのプログラムの実行を一つのワークロードとみなして、すべてのプログラムからすべてのプログラムに対するシミュレーション・ポイントを選出する集合的な帰納的選出手法 の三つである。

第 5 章「基本的な性能評価」は、第 3 章で述べた基本的な手法について、SPEC CPU 2006 ベンチマークの全 29 プログラムの各 100G (1 千億) 命令に対して、抽出率と推定誤差を評価する。その結果、100G 命令の約 0.05% をシミュレーションすることによって、平均約 0.1% の誤差で IPC を推定できることを示している。既存手法である SimPoint に対して、IPC の推定誤差は 1/5 程度になる。

第 6 章「改良手法の性能評価」は、第 4 章で述べた三つの改良手法の評価の結果を示す。① 多階層キャッシュを持つ基底モデルを追加することによって、特定のモデル、特定のプログラムに対してより正確な推定が達成される。② エミュレーションをベースとする基底モデルによって、推定誤差を改善しながら、事前シミュレーション時間は 1/3 程度に短縮される。③ 集合的な手法によって、抽出率を 1/3 程度に削減することができる。

第 7 章「結論」は、結論を述べ、展望を示して、本論文を結んでいる。

以上、これを要するに本論文は、アーキテクチャ研究・開発の基礎となるプロセッサのサンプリング・シミュレーションにおいて、よりよいシミュレーション・ポイントを選択する帰納的な手法を提案し、緻密な評価によってその有用性を検証しており、電子情報学の発展に寄与するところが小さくない。

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。