

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 野村 隼人

本論文は、追い出し不可属性を持つキャッシュアルゴリズムの研究と題し、和文で 7 章から成る。

プロセッサの継続的な高性能化は、情報社会の発展を支えている。プロセッサが必要とするデータを高速に主記憶と授受するためのメモリサブシステム能力は、汎用プロセッサでは、主にキャッシュメモリとよばれるオンチップ・メモリによって高められている。このキャッシュメモリは、小容量だが高速という性質から、従来では局所性に基づく置き換えアルゴリズムが用いられてきた。しかし、近年のキャッシュメモリは大容量化が進んでおり、投入されたハードウェア容量に見合った性能を得るためには、局所性のみに基づくキャッシュ制御アルゴリズムは十分でないことが指摘されるようになった。このことから、学習やヒューリスティクスで強化された様々なキャッシュ置き換えアルゴリズムの提案が盛んとなっている。本論文では、最新のアルゴリズムでもキャッシュ・ミスを起こすようなケースを解析し、この知見から、一部のキャッシュラインの置き換えを停止する **Stubborn Cache** アプローチとこの効果を最適化するための適応的手法が提案、評価されている。

第 1 章「序論」は、研究の背景と目的および論文内で共通する評価環境を述べるとともに、本論文の構成についてまとめたものである。

第 2 章「関連研究」は、近年の大容量化に呼応して高度化の進むキャッシュ制御アルゴリズムについて解説している。キャッシュ制御技術として、容量の限られたキャッシュ内でどのラインを残すかを決定する「置き換えアルゴリズム」と、近い将来に利用されるラインを予測してキャッシュに予め読み込みを行う「プリフェッチ」に分類し、それぞれ最新の手法を挙げて、大容量キャッシュの制御設計の要素を比較・説明している。

第 3 章「置き換え戦略の解析と提案」では、大容量キャッシュで生じるキャッシュ・ミスについてシミュレータを用いた解析結果をもとに議論している。この解析により、長い期間において再参照されるメモリ・アクセスをキャッシュ・ヒットとすることが、大容量キャッシュの制御アルゴリズムでは性能に大きな影響を与えることを明らかにしている。このようなアクセスは従来のキャッシュ制御アルゴリズムでは優先度が低く扱われる傾向にあり、新しいアプローチの必要性が示唆される解析となっている。このことから、この章では一部のキャッシュラインの置き換えを停止する **Stubborn** 戦略が提

案・評価され、簡単な Stubborn ライン選択戦略(Normal Stubborn)でも性能が向上することが確認されている。

第4章「Stubborn 戦略のポテンシャル調査」では、Stubborn 戦略の傾向を詳細に解析している。ここでは(4.1)キャッシュ容量を変化させた場合、(4.2)フェーズに適応して Stubborn 戦略の ON/OFF を切り替える場合、(4.3)Stubborn 領域の割合を変化させた場合、(4.4)キャッシュの全ての領域の置き換えを停止した場合のそれぞれのケースについて性能評価およびキャッシュ傾向の解析を行い、Stubborn 戦略の副作用を抑えながら効果を高めるための設計方針を明らかにしている

第5章「Stubborn 有効期間」は、前章で述べた Stubborn 傾向解析に続き、一度セットされた置き換え停止フラグを除去して置き換えを再開する制御手法について、専用の SDM を用いる手法と置き換えアルゴリズムに元から備わっている SDM を用いる手法の二つを提案・評価している。

第6章「Stubborn 領域の増減」では、プログラムの動的な傾向に応じて Stubborn 領域を増減させて効果を高める手法が提案・評価されている。SDM を用いて、Stubborn 領域の way 数が最小の構成と最大の構成を切り替えることにより、LRU に対して幾何平均で 3.8%、Normal Stubborn に対して幾何平均で 2.8%の性能向上が得られること、また、性能低下するケースを抑えて安定した性能を実現することが示される。

第7章「結論」は、結論を述べ、今後の展望を示して、本論文を結んでいる。

以上、これを要するに本論文は、プロセッサで広く使用されるキャッシュメモリのデータ供給性能を有意に向上させる手法として、長期再参照に着目した置き換え不可属性というアプローチを新たに導入し、網羅的な解析と、適応的な手法の提案によって安定した性能向上を達成しており、電子情報学の発展に寄与するところが少なくない。

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。