

|                     |                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Title</b>        | リアルタイムに適したキャッシュ制御法の研究                                                           |
| <b>Author(s)</b>    | 室岡, 健太郎                                                                         |
| <b>Citation</b>     |                                                                                 |
| <b>Issue Date</b>   | 2007-03                                                                         |
| <b>Type</b>         | Thesis or Dissertation                                                          |
| <b>Text version</b> | author                                                                          |
| <b>URL</b>          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/3587">http://hdl.handle.net/10119/3587</a> |
| <b>Rights</b>       |                                                                                 |
| <b>Description</b>  | Supervisor:日比野 靖, 情報科学研究科, 修士                                                   |

# リアルタイム処理に適したキャッシュ制御法の研究

室岡 健太郎 (410120)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2007 年 2 月 14 日

**キーワード:** リアルタイム、キャッシュ、再ロード、タスク ID.

## 1 はじめに

現代の情報化社会の中で、家電製品や情報端末、産業機器といったほとんどの機器にはプロセッサが組み込まれている。このように機械や機器に組み込まれて制御を行うコンピュータシステムを組み込みシステムとよぶ。組み込みシステムではとくに高い信頼性とリアルタイム性が求められる。

エンジンやプラントの制御では誤作動が命にかかわる事態になるため、これらのシステムは非常に高い信頼性が求められる。リアルタイム性とは、システムが定めた時間要件を満たして動作するということである。本論文では、このリアルタイム性を課題として掲げ、特にプロセッサのキャッシュシステムに注目し、組み込み用のプロセッサのリアルタイム処理能力の向上を目指す。

## 2 フットプリントとキャッシュパラメータの見積り

リアルタイムシステムではタスクのコンテキスト切替えが頻繁に起こる。コンテキストが起こる度に新しいタスクのラインを再ロードしなければならず、その時に生ずる再ロード過渡状態でのミスがリアルタイム性に大きく影響を及ぼす。本論文ではこの再ロード過渡状態でのミスに注目し、そのミスを低減することでプロセッサのリアルタイム処理能力を向上させる。そこで、まず1つのキャッシュを、2タスクが競合するモデルを考え、その2タスクが交互に切り替わる様子を見ることでキャッシュシステムの挙動を解析していく。そこでフットプリントという概念を用いて議論を進めていく。フットプリントとは、連想度無限大のキャッシュに任意のタスクが触れるラインの集合のことである。タスクがキャッシュをとり合うミスモデルをから導き出される事実に着目し、最適なキャッシュサイズ及び連想度を求める。これらのパラメータは用意されたタスクセットに依存するが、適切に見積ることでコンテキスト切替えに有効に効くキャッシュシステムを構成することが可能になる。

### 3 対象とするシステム

本論文では複数のタスクのアドレ스트レースを、ランダムにスケジューリングすることで疑似的にリアルタイムシステムをシミュレートした。各タスクのアドレストレースは各タスクの特徴を決定づけるプロファイルをパラメータとして、アドレスジェネレータにより生成した。

アドレスジェネレータのパラメータは、逐次実行の長さ(ラン長)、分岐方向の確率、データアクセスの頻度、データ領域のサイズ等で与える。プロファイルの等しい8個のタスクを乱数により生成している。タスクスイッチのパラメータとしては割り込み頻度を与える。

### 4 タスク ID を用いた置換制御法

通常の LRU 置換アルゴリズムでは、ラインがどのタスクに属するかは区別できない。アクセスされなかったラインは所属するタスクに関係なく、自動的に LRU スタックの後ろの方に追いやられる。

したがって現在走行中のタスクに属するラインであっても、LRU スタックの最後尾にあればそのタスクが将来必要とするどんなラインであっても追い出されてしまう。そのため、残しておきたいタスクのラインが必要な時に無いということが起きる。

そこで本論文では、タスク ID を導入して、タスク毎にキャッシュの優先度を定めることにより、ラインの優先度を与える。ラインの置換を優先度のレベルに基づいて行い、優先度高いタスクのラインをキャッシュ内に残すようにする。こうすることでタスクの切り替えが頻繁に起こるリアルタイムシステム上で再ロード過渡状態のミス回数を低減することができる。すなわち、それによって欲しいラインを欲しいときに迅速に取り出せることができるようになるため、プロセッサのリアルタイム処理能力の向上が期待できる。

本論文で提案する置換制御法として、キャッシュリソースに対する静的優先度に基づいたものと、タスクの走行回数に対する動的優先度に基づいたものと、最後にその双方の優先度に基づいたものがある。また本論文では優先度は High、Low の2種類のみとした。

キャッシュリソースに対する静的な優先度は、予めシステム設計者が決めておく。優先度を High に割りあてたタスクのラインをオンキャッシュするように制御する。

タスクの走行回数に対する動的優先度は一定時間で各タスクの走行回数を測定し、キャッシュ優先度の High、Low を決定し、優先度 High のタスクをオンキャッシュするように制御する。

双方の優先度に基づく場合、優先度 High、Low の2種類から、組み合わせによる4種類の優先度レベルを与え、最も低いレベルのタスクのラインを置換するように制御する。

## 5 シミュレーション実験

上記で述べた置換制御法の効果を調べるためにシミュレーション実験を行った。評価の比較対象として通常の LRU での置換制御のシミュレーション実験も行った。

実験はプロファイルがほぼ同じの 8 つのタスクにより行った。フットプリントサイズ (fs100) が平均約 200 の 4 タスクと、90% のフットプリントが収まる修正フットプリントサイズ (fs90) の平均が約 90 の 4 タスクを、16K バイト (フットプリントサイズで 1024) のキャッシュで評価した。

まず、評価の基準となるよう、通常の LRU での置換制御によるシミュレーション実験を行った。つぎに前記の 3 つの制御法でのシミュレーション実験を行った。

## 6 実験結果と考察

提案した優先度に基づいた置換制御では、優先度の高いタスクにおけるキャッシュミス回数が初期ミス回数まで押さえることが示された。初期ミス回数に収まるタスクが現れるのは、優先度が高いタスク数以上の連想度のところであった。実験では優先度の高いタスクは 4 であり、連想度は 4 以上のところである。

つまり適切なキャッシュサイズの見積りと、キャッシュのタグにタスク ID という新たな情報を付与することで、優先度が高いタスクのラインをオンキャッシュすることができるということが立証された。この置換制御法は、静的優先度だけではなく、タスク走行頻度に基づく動的優先度、あるいは静的優先度と動的優先度の組み合わせによる複数レベルの優先度に対して有効に機能する。

## 7 結論

本論文で提案したフットプリントサイズの評価に基づくキャッシュサイズの決定と、連想度を適切にとること、またタスク ID をキャッシュタグに付与することによりキャッシュラインの優先度を設け、優先度に基づくラインの置換を行うことにより、キャッシュシステムがリアルタイムで頻繁に起こるタスクのコンテキスト切替えに対し有効に効くという結論が得られた。