

2Q-8

MRBによる多重参照管理方式

- K L 1 処理系におけるキャッシュ特性の評価 -

西田健次, 松本 明, 木村康則, 後藤厚宏

(財) 新世代コンピュータ技術開発機構

1. はじめに

K L 1 (F G H C) では, 実行時のメモリ消費速度が非常に速く, 実行時に大量の変数セルを消費するが, 実際には使用されている変数の割合は低いことが予想されている. この性質は, キャッシュメモリを持つマシン上で, K L 1 の実行を行う場合に, ヒット率の低下 (キャッシュ上の変数の大部分は, 不要なものである), バスサイクルの増加 (ヒット率の低下に伴うスワップイン, スワップアウトの増加) 等のキャッシュ特性を悪化させる原因となっている. [2] そのため, 並列推論マシン (P I M) においてバス競合による性能劣化の可能性が懸念されている.

K L 1 処理系にMRBを用いた実時間GC方式 [3] を提案しているが, メモリ使用効率以外にも, 回収された変数セルの再利用によるアクセスの局所性の増加により, ヒット率の向上, バスサイクルの低減などキャッシュ特性の改善による実行効率の向上が期待されている.

本稿では, P I Mでの実時間GCの予備評価として, K L 1 逐次処理系でのキャッシュ特性を, MRB-GCを用いた場合と, GCを用いない場合とで比較し, MRB-GCの有効性を評価した.

2. 評価対象

2.1 K L 1 処理系

MRB-GCを用いた処理系として, 木村 [3] による K L 1 逐次処理系にメモリアクセス情報を出力するプロンプを付加したもの, GCを用いないものとしては, 松本 [2] が評価に用いていた K L 1 擬似並列処理系を単一プロセッサとして動作させたものの2つを比較した. この2つの処理系は, それぞれの処理方式に最適化されたものであり, 命令コードの構成, 構造体の取扱いに若干の差があるが, 今回の評価には, 大きな影響は与えていない.

両エミュレータともメモリ領域は, ヒープ領域 (変数セル, リストセル領域), 命令コード領域, ゴールレコード領域, サスペンドレコード領域, メタコールレコード領域の5つの領域に分けられる. ゴールレコード領域, サスペンドレコード領域, メタコールレコード領域については, 両エミュレータともフリーリスト管理によるGC (レコー

ドの再利用) が行われている.

MRB-GCでは, さらにヒープ領域に対してフリーリスト管理によるGCをおこなうため, ヒープ領域に対するアクセスの局所性が期待できる. 一方, GCを行わないエミュレータでは, ヒープ領域を使い捨てているため, アクセスの局所性は期待できない. 双方の K L 1 処理系の出力したメモリアクセス情報を元にキャッシュシミュレーションを行い, それぞれのキャッシュ特性を評価した. 図1に, キャッシュ特性評価の手順を示す.

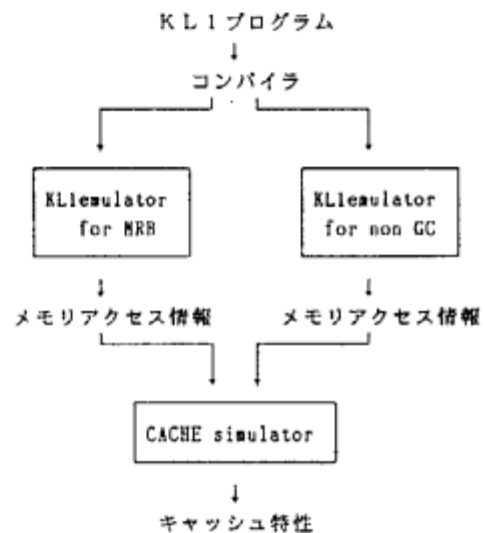


図1 キャッシュ特性評価の手順

2.2 キャッシュ構成

キャッシュプロトコルは, ライトバック型キャッシュ [1] を用いる. (逐次処理系を用いるため, S (shared) 状態, C (copy) 状態は, 使用していない) キャッシュ構成は, エントリ数を4 Kワードとし, 512カラム, 4セット, 2ワードについて評価した.

2.3 評価プログラム

評価には, BUP (ボトムアップパーザ), PRIME S (1024までの素数生成), 8-QUEENの3種を使用した.

Multiple Reference Management by MRB -Evaluation of Cache Characteristics-

Kenji NISHIDA, Akira MATSUMOTO, Yasunori KINURA, Atsuhiko GOTO

Institute for New Generation Computer Technology (ICOT)

3. 評価項目

キャッシュ特性を示す指標としては、ヒット率とバスサイクルの2つを用いた。また、メモリを、ヒープ領域（変数セル、リストセル領域）、命令コード領域、その他（ゴールレコード領域、サスペンドレコード領域、メタコールレコード領域）の3つに分け、各領域ごとの特性も求めた。

4. 評価結果

逐次処理系を用いたために、今回使用したプログラムでは、再処理系ともサスペンドが起きず、サスペンドレコード領域へのアクセスは発生していない。また、ゴールレコード領域、メタレコード領域上のアクセスは、ヒット率が高くバスサイクルに占める比率は、低かった。

表1に、ヒット率を示す。MRB-GCを用いることによりヒープ領域でのヒット率が大きく改善されていることがわかる。さらにBUPの場合は、命令コード領域でのヒット率も改善されている。これは、実時間GCを行わない場合、ヒープ領域に対するスワップイン、スワップアウトによって命令コードがキャッシュ上から追い出されていたためと考えられる。

表2に、CPUからキャッシュへのアクセス数とキャッシュからメインメモリへのアクセス数（バスコマンド数）を示す。MRB-GCの欠点として、メモリアクセス数の増加と、実行命令数の増加【3】が挙げられているが、メモリアクセス数の増加は、今回の評価ではキャッシュアクセス数の増加となり、4（BUP）～40%（PRIMES）であった。一方、バスコマンド数は、65（BUP）～90（PRIMES）%削減された。

図2にバスサイクル数のグラフを示す。MRB-GCを用いることにより、BUPで約60%、8-QUEENで約35%、PRIMESでは、約90%バスサイクルが削減されている。

表1 領域ごとのヒット率（%）

	TOTAL		HEAP		CODE	
	GC付	GC無	GC付	GC無	GC付	GC無
BUP	98.9	96.9	95.9	82.0	99.6	99.0
QUEEN	99.0	98.1	95.5	87.4	100	100
PRIMES	99.7	95.7	99.2	83.6	100	100

表2 キャッシュアクセス数、バスコマンド数

	キャッシュアクセス数			バスコマンド数		
	GC付	GC無	変化	GC付	GC無	変化
BUP	1263K	1219K	+3.6	12801	35428	-65%
QUEEN	1241K	1026K	+20%	11723	17973	-35%
PRIMES	540K	389K	+38%	1392	16611	-90%

5. まとめ

MRB-GCを用いることによりK L I 処理系のキャッシュ特性を大きく改善できることが今回の評価で示された。MRB-GCの欠点としてメモリアクセスの増加、実行命令数の増加による処理効率の低下が懸念されていた。しかし、今回の評価によりメモリアクセスの増加分は、キャッシュアクセスの中に吸収されてしまい、メインメモリへのアクセスは、逆に減少することが示された。このためメモリ持ちによるCPUの処理効率の低下が抑えられ、CPUの処理効率は、かえって向上すると考えられる。

また、バスサイクル数も大幅に削減できるため、共有バス構成を取るPIM（並列推論マシン）においても、バスネックによる処理効率の低下を避けられることが期待される。

6. 今後の課題

今回の評価により、MRBを用いた実時間GC方式がK L I 逐次処理系の実行効率を向上させることが示された。さらに、PIM上でK L I を効率的に実行するためのMRB-GCの実装方式を調べるため、今回使用したK L I 処理系を擬似並列に拡張し、同様の評価を行っている。

謝辞

日頃御指導いただいた内田俊一第4研究室長、ならびに御討論いただいた同僚諸氏に感謝します。

参考文献

- [1] 松本, 他, "並列推論マシンPIM-並列キャッシュとロック機構", 第34回情報処理全国大会2P6
- [2] 松本, 他, "PIMの並列キャッシュ-K L I のメモリ参照特性", 第35回情報処理全国大会3C1
- [3] 木村, 他, "MRBによる多重参照管理方式-K L I 処理系における実時間ガーベジコレクション方式", 第35回情報処理全国大会2Q6
- [4] Chikayama, et al. "Multiple Reference Management in Flat GC", Proc.4thICLP, pp276-293

