

1Q-7

Multi-PSI/V2 における一括GC  
及びメモリ消費特性の評価

宮内 信仁 川田 易治 中島 克人  
(三菱電機) (SET) (ICOT)

1. はじめに

本稿では、共有メモリを持たない疎結合マルチプロセッサシステムである Multi-PSI/V2 における一括GC及びメモリ消費特性の評価結果について報告する。

2. Multi-PSI/V2 のメモリ管理方式

2-1. PE内GCとPE間GC

KL1のようなコミットドチョイス型の言語では、一般にメモリ消費速度がかなり高く、メモリアクセスの局所性が悪化しキャッシュ効率が低下する。このため、Multi-PSI/V2 では多重参照ビット(MRB: Multiple Reference Bit) [1] を利用し、単一参照されているデータが不要になった時点で回収するインクリメンタルGCを実装している。このインクリメンタルGCでは以下のようなデータに関しては、それがゴミになっても回収できない(3)の場合は回収していない)ため、一括GCも併用している。

- (1) 一度多重参照されてしまったデータ
- (2) 循環構造データ
- (3) 構造体の要素から指される別の構造体データ

Multi-PSI/V2 では、PE内で判別できるゴミの回収にはMRBを用いたインクリメンタルGCと一括GCの両者を行い、PE間にまたがるようなゴミの回収にはWEC方式と呼ばれる重み付き参照カウンタを用いたインクリメンタルGCを行なっている [4], [5]。

2-2. 一括GCの起動

インクリメンタルGCで回収されたメモリセルは、再利用を図るためにセルの大きさに応じたフリーリストにつながれ、管理される。フリーリストが払底した場合には処理系はあらかじめ決められた個数だけのメモリセルをヒープメモリ上に生成し、それをフリーリストにつなぐ。ヒープメモリに十分なメモリセルが確保できないと一括GCが起動される。

一括GCにはいわゆるコピーングGC方式を用いている。即ち、ヒープのためのメモリをあらかじめ等分して表裏2つのヒープメモリとし、表のヒープメモリを使い切ると生きているデータのみを裏ヒープにコピーし、コピーが全て終了すると表裏を切り替える。

2-3. Multi-PSI/V2の一括GCの特徴

生きているデータを裏ヒープにコピーするに際し、以下のような最適化を施している。

(1) MRB情報を用いて、マーキングを省略。

通常、コピーを終えた表ヒープ上のメモリセルにはマーキング、即ち、コピー済みを示すマークと共に、コピー先のアドレスを書き込む必要がある。しかし、MRB情報を用いることにより単一参照されているデータに関してはこのマーキングを省略し、コピーのみを行なうことができる。

(2) 間接参照チェーンの短縮

間接参照セルはコピー時に取り除くことができる。これより、コピーの手間及び新しいヒープ上でのメモリの節約ができると共に、一括GC後の実行効率も向上する。

(3) MRB情報のメンテナンス

MRB方式では1ビットの参照カウンタを用いるため、一度多重参照されたデータに関しては、それ以後の参照数の管理は実行時には行なわれない。一括GCでは参照数の再カウントを比較的少ないコストで行なうことができる [3]。

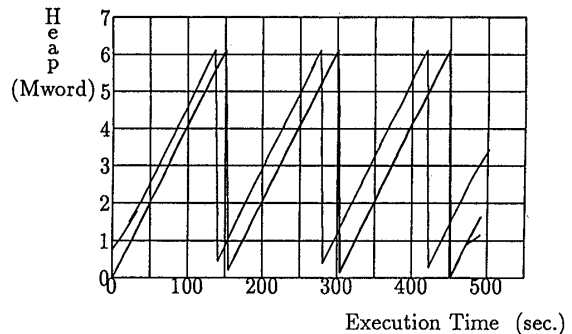


Figure 1: Consumed Heap by Pentomino

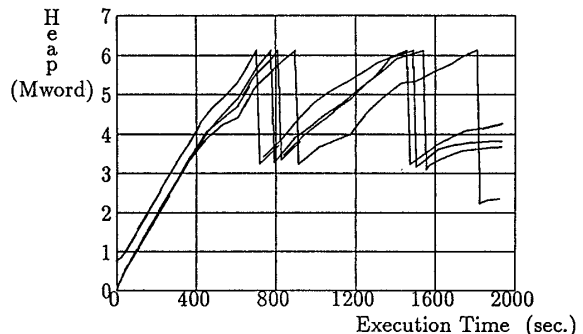


Figure 2: Consumed Heap by PAX

3. 一括GC及びメモリ消費特性の評価

Multi-PSI/V2 (4プロセッサ版) 上で, 13-Queen, 詰め込みパズル(Pentomino), 詰め碁(Tsumego), 英語構文解析(PAX), 最適経路探索(Best Path) の5つのプログラムを用いて実測した。

3-1. メモリ消費特性

Figure 1, 2 にヒープメモリ消費の時間変化を示す。13-Queen や Pentomino はOR並列型の全解探索問題であるが, これらのメモリ消費は規則正しい単調増加の傾向が見られる。これに対しPAXでは, 若干不規則になる傾向が観察できる。また, 一括GC直後のヒープ量から生きているデータ量に相当の違いがある点も確認できる。

3-2. 一括GCの処理特性

Table 1 に一括GCの所要時間と, 全体の実行時間に対する比率(一括GCオーバーヘッド)を示す。各評価プログラムについて, ヒープメモリを最大にした場合(片面あたり約6M語)と, それよりも小さくした場合について測定した。

オーバーヘッドは測定したプログラムに関してはヒープメモリが最大の場合に最大2%程度であった。特に生きているデータが少ない13-Queen やPentomino などではオーバーヘッドが小さく, 反対にPAX では大きくなるという, コピーイングGCの特性がそのまま現われているのがわかる。また, ヒープメモリを小さくするほどオーバーヘッドが大きくなることもおおむね確認できた。

Figure 3 は全ての評価プログラムに関して, 一括GC時の生きているデータの容量とGCの所要時間の関係をプロットしたものである。これによると, Xを生きているデータの容量(M語)とすると,

$$GCの所要時間(sec) = 2.5 + (2.2 \sim 4) * X$$

であることがわかる。なお, コンスタント時間が2.5秒と比較的大きいのは, マーキングルートの1つである輸出表が500K エントリ程度と非常に大きいことなどが原因の一つであろう。

4. おわりに

Multi-PSI/V2 では, 一括GCがネックとなることなくマルチプロセッサの処理が安定して動作することが確認された。今後はさらに様々な応用プログラムについて負荷分散方式などを変更して, 評価を行なう必要がある。またインクリメンタルGCを全く行なわず, 一括GCのみを実装した処理系との比較を行なうことができればよいと思われる。今後MRB方式の評価を継続して行い, 並列推論マシンの後継機であるPIMにおける一括GCを設計する上での参考としたい。

参考文献

[1] T.Chikayama and Y.Kimura :  
"Multiple Reference Management in Flat  
GHC", Proc. of ICLP'87, also as ICOT-TR248  
[2] 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 -  
情報処理学会第35回全国大会 2Q-6

[3] 宮内 他:

MRBによる多重参照管理方式 - K L I 処理系における一括型GCの特性評価 -  
情報処理学会第35回全国大会 2Q-7

[4] N. Ichiyoshi et al. :

"A New External Reference Management and Distributed Unification for KLI",  
Proc. of FGCS'88, also as ICOT-TR390

[5] K.Nakajima et al. :

"Distributed Implementation of KLI on the Multi-PSI/V2", Proc. of ICLP'89, also as ICOT-TR439.

Table 1 : 一括GCによるオーバーヘッド

Programs	Heap [Mword]	Run Time [second]	GC Time Overhead	Active Data [Mword]
13 Queens	6.13 (1)	1154	1.02~1.31 %	0.00345~0.234
	3.07 (1/2)	1200	2.08~2.49 %	0.00322~0.234
Pentomino	6.13 (1)	502	1.72~2.09 %	0.139 ~0.386
	3.07 (1/2)	528	3.35~4.20 %	0.174 ~0.397
Tsumego	6.13 (1)	966	0.77~1.07 %	0.391 ~1.45
	3.07 (1/2)	1008	1.86~3.26 %	0.267 ~1.78
PAX	6.13 (1)	1935	1.43~1.58 %	2.74 ~3.25
	4.60 (3/4)	1976	2.12~3.86 %	3.04 ~3.44
Best Path	6.13 (1)	1154	2.07 %	2.29
	4.60 (3/4)	1495	0.90~1.94 %	1.20 ~1.78

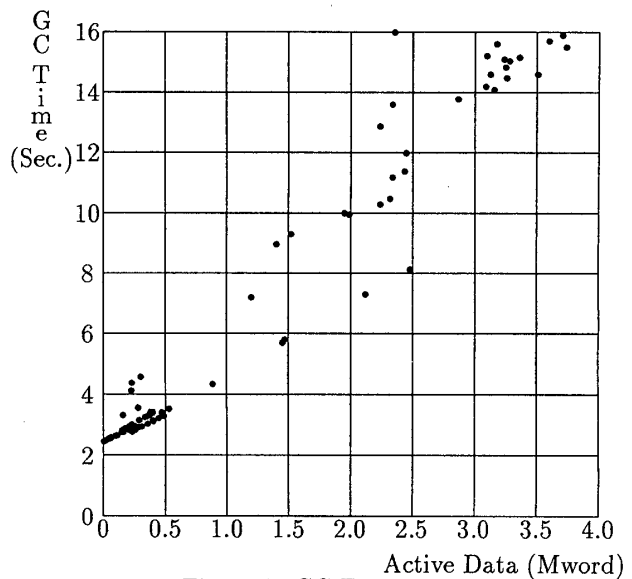


Figure 3: GC Execution Time