

高速並列処理ワークステーションTOP-1 —統計情報収集回路を用いた性能評価—

5T-2

大庭 信之 清水 茂則

日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

1. はじめに

共有メモリ・共有バス方式のマルチプロセッサシステムは、従来のソフトウェアとの親和性は良好である反面、共有バスへのアクセス競合がマシン性能のボトルネックになりやすい。そのためTOP-1ではスヌープ機能を持つマルチキャッシュを搭載し、バストラヒックの軽減を実現している¹⁾。TOP-1は密結合マルチプロセッサシステムの研究・開発を行うためのプロトタイプである。そのため、今後の研究上重要と思われる様々な情報を得られるように、各種の統計情報を収集するためのハードウェアイベントモニタ "Statistics-Unit" を搭載している。従来のソフトウェアシミュレーション等ではOS自身あるいはOSとアプリケーション全体を含んだ性能評価は困難であった。それに対し、このユニットはTOP-1のキャッシュ/バス制御チップに内蔵され、ハードウェア及びソフトウェアのオーバーヘッドなしにキャッシュヒット率などの重要な情報を集めることが可能である。

本稿では、Statistics-Unitを用いたTOP-1の性能評価に関して、その方法及び評価結果について述べ考察を加える。

2. Statistics-Unit

Statistics-Unitはハードウェアイベントカウンタであり、以下に示す統計量をページ単位の実アドレス範囲を指定して収集することができる。

- (1) メモリアクセス量 (命令フェッチ、データリード、データライトを分けて計測可能)
- (2) キャッシュヒット率 (命令フェッチ、データリード、データライトを分けて計測可能)
- (3) シェアデータに対するデータライトの量
- (4) キャッシュ内のダーティラインの数
- (5) スヌープヒット率
- (6) スヌープとCPUアクセスの衝突量
- (7) バス待ちのサイクル数

これらの統計量をアドレス範囲を指定して収集することができ、例えばOSとアプリケーションに関する統計量を別個に測定したり、コード・データ・スタックを別々に測定することが可能である。また、(1)のメモリアクセス量に関して、通常のソフトウェアシミュレーションでは、プリフェッチされた命令のうちプリフェッチキューの掃き出しによって実際には実行されなかった命令の及ぼす効果を見積もることが難しいが、本方式では純粋にメモリアクセスとして測定することができる。

3. 性能評価方法

TOP-1を評価する方法として2通りの手法を用いた。即ち、OSなしで直接ハードウェア上でアプリケーションを走らせた場合とOS下でアプリケーションを走らせた場合の2通りである。OSなしの場合はプログラムが並列動作を考慮してプログラムしなければならない反面、各プロセッサの動作・負荷分散を細かく記述・制御することができる。汎用機としてはOSなしの利用は考えにくいだが、OS自身の性能がシステム全体の性能に大きく影響を与えるためにハードウェアそのものの性能を正確に評価できない場合もある。本報告ではOSなしの評価方法として (1)画像処理 (エッジ検出) (2)行列の乗算 を用いた。さらに、OSも含めた性能評価方法として (3)MAKE (コンパイル&リンク) (4)画像処理 (エッジ検出) (5)レイトレーシング を行った。なおTOP-1のOSは現在開発中であり、ここで示す測定値は最終的な結果ではないことをお断わりしておく。

4. 評価結果

(1)最初にプロセッサの台数とマシン性能の向上の関係を画像処理 (エッジ検出) を用いて測定した。処理すべき画面をプロセッサの数に分割し、1~10台のプロセッサを同時に動作させて、処理時間を求めた。1画面の総データ量は約1Mバイトである。図1は1台のときの性能を1として、プロセッサの台数を変化させたときの相対値を示したものである。10台で1台の場合の9倍程度の性能向上が得られており、複数のプロセッサが効率よく動作していることがわかる。

(2)次に、行列乗算を用いてキャッシュの効果を検証した。キャッシュヒット率を命令フェッチ・データリード・データライトに分け、さらに最もアクセスの局所性が高いと思われるスタックを含めた場合と含めない場合の両方について測定した。実際の演算は行列を9個の正方行列に分割し9台のプロセッサで並列処理を行なわせた。なお要素はすべて32ビットの整数である。結果を表1に示す。行列の大きさが204²を超えるとデータに関するヒット率が目立って下降するが、これは1プロセッサ当りに搭載されているキャッシュが128Kバイトであり、扱う行列の大きさがちょうどキャッシュの大きさを超える時点である。スタックのヒット率への影響を考慮すると、スタックだけをローカルメモリに置くシステム構成も考えられる。しかし、TOP-1ではライトバックキャッシュを採用しており、プライベートデータに関する読み書きでは共有メモリをほとんど使わずに済む。むしろスタックが他のプロセッサから見えるという利点がある。

(3)(4)(5)最後にTOP-1のOS下で行った性能評価について報告する。現在のTOP-1 OSはマスタ・スレーブ型の形態をとっており、ここで示すデータはカーネルプロセッサ1台、ユーザプロセッサ5台、情報収集用プロセッサ1台の構成で測定したものである。但しMAKEはレイトレーシングのプログラムをコンパイルしたもので、ユーザプロセッサは1台のみ動作している。表2にMPUの発生するメモリアクセスの比率を示す。TOP-1はインテルの80386 (いわゆるCISCに属する) プロセッサを使用しているが、命令フェッチが60%~88%とかなり高い比率を示していることが注目される。また、表3に同時に測定したキャッシュヒット率を示す。ほとんどの場合で99%を超えるヒット率が得られている。このように高いヒット率が得られる要因として、まずTOP-1が各プロセッサに128Kバイト(ダイレクトマッピング)の比較的大容量のキャッシュを搭載していることがあげられる。逆にいえば、128K程度の容量を持っていればダイレクトマッピングでも十分高いヒット率が得られることがわかる。

5. むすび

以上の結果より、TOP-1を含む密結合型マルチプロセッサシステムの性能に影響の大きいキャッシュヒット率に関しては、TOP-1では非常に高い値が得られていることが確認できた。現在、本稿で報告した以外にもいろいろなアプリケーションを用いて様々な側面からTOP-1の性能評価を続けて行っており、スヌープキャッシュ自身の性能も含めて後日報告したい。また、統計情報的手法に加えて、TOP-1のマルチプロセッサメモリアクセストレースをとっており、今後の研究・開発に生かす予定である。

【参考文献】

[1]鈴木・黒川：「高速並列処理ワークステーション TOP-1」、情報全大論文集 pp.171-183, 1988年9月。

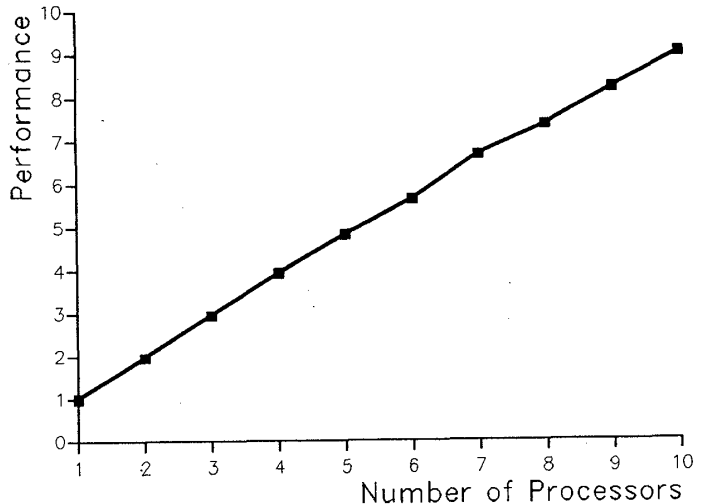


図1. プロセッサ台数とシステム性能

表1. 行列乗算のキャッシュヒット率

行列の大きさ	ヒット率 (%)				
	命令フェッチ	データリード		データライト	
		含スタック	除スタック	含スタック	除スタック
102 ²	99.99	99.52	98.80	99.99	99.99
144 ²	99.99	99.35	98.89	99.99	99.99
204 ²	99.98	95.71	91.48	99.97	99.97
282 ²	99.98	91.28	82.66	99.86	99.82
408 ²	99.96	91.20	82.39	99.99	99.97
576 ²	99.96	91.18	78.50	99.99	99.98
816 ²	99.96	90.92	81.85	99.99	99.99

表2. メモリアクセス比

アプリケーション	命令フェッチ	データリード	データライト	
MAKE	Kernel Proc.	0.86	0.10	0.08
	User Proc.	0.75	0.17	0.08
画像処理	Kernel Proc.	0.84	0.12	0.04
	User Proc.	0.69	0.23	0.08
レイトレーシング	Kernel Proc.	0.88	0.09	0.03
	User Proc.	0.60	0.30	0.10

表3. OS下でのキャッシュヒット率

アプリケーション	命令フェッチ	データリード	データライト	
MAKE	Kernel Proc.	99.99	99.99	99.99
	User Proc.	99.40	99.69	97.28
画像処理	Kernel Proc.	99.87	99.89	99.71
	User Proc.	99.95	99.42	99.44
レイトレーシング	Kernel Proc.	99.99	99.99	99.93
	User Proc.	99.54	99.19	99.67