

6 L - 7

コネクションマシン CM-2 のベンチマーク評価

松本 和彦 喜連川 優 高木 幹雄  
 東京大学 生産技術研究所

1 はじめに

コネクションマシンは、数万個というオーダーのプロセッサアレイとハイパーキューブ形状の通信ネットワークを持つ、単一命令ストリーム多重データ (SIMD) の並列アーキテクチャマシンである。現在 Thinking Machines Corporation が市販している最新モデルは CM-2 と呼ばれ、フルセットで 65536 個のプロセッサを備えている。

CM-2 は、ワークステーションなどのフロントエンドにバスインタフェースを介して結合している。逐次的な処理はフロントエンド上で通常のプログラムコードとして実行され、並列処理の部分だけがバスインタフェースを通じてコネクションマシンに指令される。

CM-2 の操作は、PARIS というライブラリの関数を呼び出すことによって行なう。このライブラリがサポートしている重要な機能は、仮想プロセッサ (Virtual Processor, 以下 VP) である。VP の数は物理的なプロセッサ数に関係なくとることができ、プログラムへの負担の軽減、プログラムの可搬性に大きく寄与する。VP の数を物理プロセッサの数で割ったものを、VP 比と呼ぶ。

今回、プロセッサ数 8192、クロック 6.7MHz の CM-2 を使い、ベンチマーク性能評価を行なったので、その結果を報告する。

2 PARIS 命令セット

CM-2 の操作は最も低位のレベルでは、PARIS と呼ばれるインタフェースを介して行なうことができる。PARIS の命令セットは次のように大別される。

- メモリ管理
- 算術演算
- ビットフィールド演算
- プロセッサ間通信
- フロントエンド間データ転送

3 基本演算性能

基本的な四則演算のベンチマーク結果を、表 1 に示す。なお、ここでの性能は 64K プロセッサの CM-2 に正規化したものである。表中でいう 'ベクタ' とは、オペレーション上は 1 つの変数に見えるが、その実体はそれぞれのプロセッサが各々 1 つずつ持っているという、'並列型' 変数のことである。

VP 比によって性能が向上するが、乗算・加算では 2GFLOPS の性能が達成できている。

VP 比	1	2	4	8	16	32
ベクタに定数をかける	1.71	2.11	2.32	2.26	2.53	2.56
ベクタを定数で割る	0.46	0.45	0.46	0.55	0.68	0.69
ベクタに定数を足す	1.60	1.85	1.94	1.93	2.15	2.17
ベクタにベクタをかける	1.60	1.85	2.00	1.99	2.12	2.14
ベクタをベクタで割る	0.42	0.32	0.34	0.35	0.45	0.45
ベクタからベクタを引く	1.43	1.37	1.75	1.70	1.84	1.86

表 1: 基本演算性能のベンチマーク (GFLOPS)

<sup>0</sup>Benchmark evaluations of the Connection Machine CM-2  
 K.Matsumoto, M.Kitsuregawa, M.Takagi  
 The Institute of Industrial Science, University of Tokyo

4 通信性能

4.1 NEWS グリッド性能

NEWS グリッドは、任意の次元を持つ格子状に構成された全プロセッサが、同じ方向に隣接するプロセッサに一直線にデータを送信する通信方式である。

表 2 に示すように、グリッドの構成が同じ場合には、メッセージ長と通信時間の間には線形の関係がある。

また、表 3 に示すように、グリッドの構成をいろいろと変えた時には、VP 比が大きくなるに従って通信時間が増加していくことがわかる。ここで興味深いのは、物理的なプロセッサが  $8192 = 2^{13}$  個しか無いにも関わらず、一つのプロセッサを 2 つの次元にまたがらせることによって、13 次元を超えるグリッド構成をとることが可能であるという点である。

4.2 汎用通信性能

通信パターンがグリッドのように規則的でない場合のために、コネクションマシンは完全に汎用的な通信機構を持っている。これは各プロセッサチップが 1 つずつ備えているルータと呼ばれるユニットによって実現されている。

完全にランダムに送信先のアドレスを選んで通信を行なった時の通信時間を、VP 比を変えながら測定した結果を表 5 に示す。

メッセージ長 (bit)	次元 0 方向の通信時間 (msec)	次元 1 方向の通信時間 (msec)
1	0.110	0.110
2	0.100	0.100
4	0.110	0.115
8	0.130	0.125
16	0.140	0.140
32	0.205	0.205
64	0.335	0.335
96	0.470	0.820
128	0.600	1.245

表 2: メッセージ長による NEWS 通信時間の違い (グリッド構成は 64x128)

グリッド	VP 比	通信方向	通信時間	通信方向	通信時間
64x128	1x1	0	0.34	1	0.34
128x128	2x1	0	3.88	1	3.90
128x256	2x2	0	0.76	1	1.88
256x256	4x2	0	1.22	1	2.27
256x512	4x4	0	2.44	1	3.21
1024x1024	16x8	0	9.24	1	9.24
1024x2048	16x16	0	18.45	1	18.45
128x64x4	2x2x1	0	0.76	1	1.81
		2	1.88		
16x16x8x4	2x2x1x1	0	2.75	1	3.18
2x8x2	1x2x1	2	3.50	3	3.37
		4	3.32	8	3.28
		0	28.45	1	28.45
		2	28.45	3	28.45
		4	28.45	5	28.45
		6	28.45	7	28.45
		8	28.45	9	28.45
		10	28.45	11	28.45
		12	28.45	13	28.45
		14	28.45	15	28.45
		16	28.45	17	28.45

表 3: グリッドの違いによる NEWS 通信時間の違い (msec, メッセージ長は 64bit)

## 5 特殊命令の性能

PARIS 命令セットには、通常のマシンにはないいくつかの特殊命令がある。その代表的なものは、send や get といった汎用通信命令に add や logand などの操作を結合したものや、global-add、global-max などのリダクション操作、複数の算術オペレーションを複合したものである。これらのうちのいくつかについて、その性能測定を、表 6 に示す。

## 6 VP 比の影響

CM-2 が浮動小数点用の専用プロセッサを装備している時、浮動小数点計算の性能は VP 比によって影響を受ける。FLOPS の単位で比べた場合、VP 比が 32 くらいまでは、VP 比を上げるにつれ性能が上がるという傾向がある。これは浮動小数点プロセッサとプロセッサアレイとの間のインタフェースがパイプライン化されるためである。

通信性能について見た場合は、単位時間あたりに移動するビット数で比べた場合、これも VP 比を上げるにつれ向上する傾向がある。これは物理プロセッサが複数の VP をシミュレートすることにより、物理的な配線間のメッセージパッシングの一部を、同一プロセッサ内のメモリ転送に置き換えることができるようになるためである。

## 7 終りに

コネクションマシンのプロセッサはビットシリアルであるため、そのままでは浮動小数点数の計算などは非常に不得手なものになってしまう。この欠点を克服するために浮動小数点アクセラレータが備えられることとなったが、このアクセラレータは VP 比を上げることによって最大限に利用することができることが今回のベンチマークで明らかとなった。現行の CM-2 ではプロセッサ数は 65536 個であり、ほとんどの数値計算アプリケーションで VP 比を必然的に大きくとっていることから考えると、アクセラレータの搭載はこのようなアプリケーションの実行速度を劇的に向上させることが予想される。

各種の通信性能については、NEWS グリッドを使った通信が汎用通信よりも 50-100 倍程度高速であるなどの定量的事実がわかった。しかし、通信についてはプロセッサ数と性能が線形ではないため、今回対象としたコネクションマシンとプロセッサ数の異なる場合についての予測は容易ではない。通信性能とプロセッサ数との関係については、今後の課題となるだろう。

## 参考文献

- [1] W.Daniel Hillis, "The Connection Machine", The MIT Press, 1985
- [2] Thinking Machines Corporation, "Connection Machine Technical Summary", 1989

グリッド	VP 比	通信時間 (msec)
64x128	1	0.34
128x128	2	0.39
128x256	4	1.32
256x256	8	1.74
256x512	16	2.28
1024x1024	128	9.24
1024x2048	256	18.45
128x64x4	4	1.48
16x16x8x 2x8x2	8	3.29
2x2x2x2x 2x2x2x2x 2x2x2x2x 2x2x2x2x 2x2	32	28.45

表 4: VP 比の違いによる NEWS 通信時間の違い (メッセージ長は 64bit)

VP 比	通信時間 (msec)
1	3.50
2	4.97
4	10.85
8	27.38
16	53.84
32	109.03
64	214.93
128	431.40

表 5: VP 比による汎用通信時間の違い (メッセージ長は 64bit)

VP 比	1	2	4	8	16	32
send-with-add	2.40	6.60	14.90	42.60	85.80	168.20
scan-with-add	0.80	2.20	3.70	5.30	7.60	12.70
scan-with-copy	3.40	4.90	6.30	13.80	12.40	27.10
global-max	0.70	0.50	1.50	1.90	2.90	5.90
global-add	1.25	1.38	1.57	0.60	1.14	2.31

表 6: 特殊命令に要する時間 (msec、メッセージ長は 64bit)