

SIMD 型超並列計算機におけるリバモアループの並列化とその評価

7G-3

高橋大介 湯浅 太一

豊橋技術科学大学

1 はじめに

リバモアループ [1] は科学技術計算用コンピュータの FORTRAN の処理能力を測るために、アメリカ合衆国のローレンス・リバモア研究所で作られたベンチマークプログラムである。流体、連立1次方程式、三重対角行列の処理、偏微分方程式直接解法、差分予測、粒子シミュレーションなど主に核融合における大規模計算の中核コードを集めた24個のループで構成されており、スーパーコンピュータなどの性能評価に広く利用されている。

SIMD 型超並列計算機の有効性を検証するために、リバモアループの SIMD 型並列化を試みた。実際に、我々が開発した SIMD 型超並列計算機 SM-1 [2] で性能評価を行い、代表的な SIMD 型超並列計算機であるコネクションマシン CM-2 で行われたリバモアループによるベンチマーク [3] の追証を行なった。

本稿では、SM-1 の概要と、リバモアループを並列化した場合の性能評価した結果について述べる。

2 SIMD 型超並列計算機 SM-1

SM-1 は、1024 個以上の PE (Processing Element) を PE アレイとして持つ分散メモリの SIMD 型並列計算機である。SM-1 のシステム構成を図1に示す。PE アレイは SPARCstation を FE (Front End) として、そこにバックエンドとして接続される。SM-1 は PE 間通信のために、次のようなハードウェア・ネットワークを持っている。

- 2次元メッシュ (PE 数 1024 の場合 32×32)
- 縦・横の OR バス (縦バス 32 本, 横バス 32 本)
- 全 PE の OR バス (システム全体で 1 本)
- シャッフル・エクスチェンジ・ネットワーク

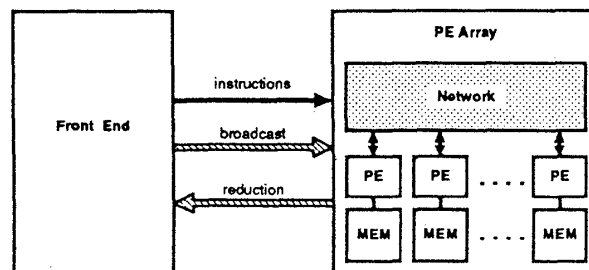


図1 SM-1 のシステム構成

3 並 C

SM-1 の並列処理記述言語である並 C [4] は、ANSI 標準の C 言語に SIMD 型超並列処理機能を拡張したものであり、プログラムの並列実行部分は明示的に記述される。拡張された機能を使用していないプログラムは従来の計算機上における場合と同様に逐次実行される。

また、PE 間通信やバス上の演算など、SM-1 のアーキテクチャを反映した低水準の並列処理機能をサポートしている。

4 性能評価

SM-1 の性能を評価するために、リバモアループによりベンチマークテストを行った。

オリジナルのリバモアループは FORTRAN で記述されているが、SM-1 の性能評価においては、リバモアループを並 C で記述した。並 C によるリバモアループのコーディングにおいては、各 PE に配列を作り、見かけ上 PE の個数を増やしている。

性能評価は、1024 (= 1k) 個の PE を持つ SM-1 上で、リバモアループの各カーネルにおけるループ長を 1k ~ 512k まで変化させて実行時間を測定することにより行った。

リバモアループによる SM-1 の性能評価の結果を表 1 に示す。

Parallelization of Livermore Loops for A SIMD Computer and its Evaluation

Daisuke TAKAHASHI, Taiichi YUASA
Toyohashi University of Technology

表1 リバモアループによる SM-1 の性能
倍精度 (単位 MFLOPS)

Kernel	1k	8k	64k	512k
1	7.49	16.62	19.70	20.10
3	3.32	17.24	34.73	39.40
5	0.52	0.44	0.39	0.34
7	21.80	29.60	31.05	31.27
8	30.55	36.14	36.99	37.08
9	41.12	40.87	40.76	40.88
10	22.42	22.78	22.72	22.79
11	0.50	0.44	0.39	0.36
12	11.10	17.46	18.75	18.87
13	0.11	0.10	0.10	0.09
14	0.33	0.27	0.22	0.18
15	5.48	5.53	5.57	5.53
18	27.51	36.51	38.05	38.26
19	0.76	0.73	0.68	0.59
21	34.04	36.67	37.01	37.06
22	9.00	8.95	8.95	8.95
23	1.88	1.65	1.46	1.30
24	0.33	2.34	9.49	15.91

リバモアループにおいて、カーネル 2, 4, 6, 16, 17, 20 は並列化が行えないので、今回は測定しなかった。

今回評価した SM-1 は、1024 個の PE を搭載しているが、PE は 8bit プロセッサであり、浮動小数点演算を行うハードウェアを持っていないので、ピーク性能は 64bit 演算において約 50MFLOPS 程度である。

カーネル 3, 7, 8, 9, 18, 21 は配列要素間の演算独立性があることから、ループ内の演算がほとんど並列化されており、PE 間通信も少ないので、SM-1 のピーク性能が発揮できている。ループ長が大きくなるにつれて性能が向上しているのは、ループ長の増大に伴い、PE 内の演算が増えるので、全体としての PE 間通信の割合が減っているためと考えられる。

カーネル 5, 11, 19 は巡回計算となっており、そのままでは並列化ができないので、cyclic reduction アルゴリズム [5] によって並列化を行っている。

このアルゴリズムでは、 $\log_2 n$ 回のループを外側に設ける必要があり、並列化の効率が落ちている。また、PE 間通信も多いので、性能が出ていないことがわかる。

また、カーネル 5, 11, 19 においてはループ長が大きくなるにつれて性能が若干低下しているが、これは

PE 間通信が増えているためと考えられる。

カーネル 13, 14 ではリストベクトルによる間接参照を行っているが、分散メモリの並列計算機では、メモリアクセスに制約があるので、リストベクトルによる間接参照は効率が落ちる。SM-1 ではリストベクトルによる間接参照を PE 間のグローバル通信により行っているために通信コストが増大し、性能が発揮できていない。

以上の結果は、分散メモリの SIMD 型超並列計算機であるコネクションマシン CM-2 のリバモアループによるベンチマークの結果 [3] と同様の傾向を示している。したがって、SM-1 は CM-2 と同様に並列化が可能な問題に対しては、十分高い効率で計算できることがわかる。

5 まとめ

SIMD 型超並列計算機におけるリバモアループの並列化およびその評価を行った。その結果、SM-1 においても、CM-2 と同様の傾向があることが明らかとなった。したがって、これらのマシンにおける結果は、一般の SIMD 型超並列計算機に共通するものであると推測される。

今後は、性能評価から得られた成果をマシンの改良に反映させていく予定である。

参考文献

- [1] F. H. McMahon, "The Livermore Fortran Kernels: A Computer Test of the Numerical Performance Range," Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-53745, 1986.
- [2] 松田元彦, 湯浅太一: SIMD 型超並列計算機 SM-1 (仮称) の概要. 計算機アーキテクチャ研究会資料 95-17, 1992.
- [3] M. A. Young, "Benchmarking the Connection Machine," Naval Research Laboratory Report 9289, 1990.
- [4] 貴島寿郎, 湯浅太一: SIMD 型超並列プログラミング言語「並 C」とそのコンパイラ. プログラミング言語・基礎・実践 - 研究会資料 9-9, 1992.
- [5] R. W. Hockney and C. R. Jessope, Parallel Computing, Adam-Hilger, Bristol, 1981.