

中央大学 学生員 ○ 立石 絢也
 中央大学大学院 学生員 須江 克章
 中央大学 正会員 樫山 和男

1. はじめに

現在、数値解析の高速化手法として並列計算が広く用いられている。並列計算機の一つである共有メモリ型並列計算機は、従来商用高性能計算機のみで用いられていたが、コンピュータの低価格化とOSの高性能化によりSMP(Symmetric Multi Processor)型PCとして手軽に利用できるようになってきた。分散メモリマシンでの並列化は、MPIライブラリ¹⁾が標準として広く普及しているが、共有メモリマシンにおける並列化は、従来スレッドライブラリ²⁾やハードウェア固有の命令³⁾を用いて行われることが多かった。しかし、現在では並列化ライブラリの標準としてOpenMPが利用できるようになった。

そこで本報告では、SMP型PCをネットワークで結んだSMPクラスタを構築し、OpenMPとMPIを組み合わせる有限要素法の並列計算を行い、従来のMPIのみを用いた場合との計算効率の比較検討を行った。

2. SMPの概要

SMPシステムは、メモリを複数のプロセッサで共有し、どのプロセッサからも同じようにアクセスすることができる。そのため、データ分散を意識したプログラミングを行う必要がない。また、プロセッサ数を増やすためにかかるコストを抑えることができる。しかし、CPUとメモリとのデータ転送のバンド幅が少ない場合や、CPUが単一のバスでメモリと接続されている場合、複数のCPUがメモリに同時にアクセスすることができないため、プロセッサ同士が競合して性能の低下を起こすことが多い。また、各プロセッサが持つキャッシュメモリの一貫性を保つためにプロセッサ間の通信を行うため、余分な時間がかかる場合もある。

3. OpenMPとMPI

OpenMPでは、おもに配列などに対する反復計算を並列化する。FortranにおけるDO文やC言語におけるfor文などに対して指示文を挿入することにより並列化をおこなう。OpenMPコンパイラはプログラム内でスレッドを生成し、反復計算ループを各スレッドに分配して並列処理を行う。スレッドの生成や消滅にはオーバーヘッドがかかるため、ループ内の計算量が少ない場合には並列化の効果が得られなくなる。

ネットワークを介した通信が必要なところでは、スレッドを同期させてMPIによるメッセージ通信を行う。

4. SMPクラスタ

PentiumIII866MHzを2個搭載するSMP型PCを8台接続したSMPクラスタを構築した。クラスタのハードウェア仕様を表に示す。OSはLinux-2.2.16、コンパイラはOpenMPをコンパイル可能なPGI Fortran⁴⁾を使用した。

表-1 SMPクラスタ仕様

CPU	Dual PentiumIII
Clock cycle	866MHz
Cache size	L1 32kB / L2 256kB
Memory size	512MB
Network	100Base-Tx DEC 21140-AF

5. 数値解析例

数値解析例として、SUPG/PSPG法⁵⁾を用いた3次元立方体キャビティ内対流問題を取り上げ、並列化性能評価を行った。有限要素は、P1/P1要素、時間方向の離散化にはCrank-Nicolson法を使用している。SUPG/PSPG法では、未知量の係数行列が非対称となるため、連立一次方程式の解法としてBiCG-STAB法を使用した。なお、係数行列には記憶容量の削減のためのElement-by-Element処理を行っている。

(1) 並列計算法

計算領域をブロック型分割により領域分割して各ノードに割り当て、ノード間の通信をMPIにより行い並列化した。そして、各ノード内においてOpenMPを用いた並列化を行った。全計算時間の90%以上が連立一次方程式を解くためにかかるため、OpenMPによる並列化は連立一次方程式の部分のみ行っている。また、比較を行うために、分散メモリ、共有メモリ両方の並列化にMPIを用いた場合の計算も行った。

(2) 解析条件

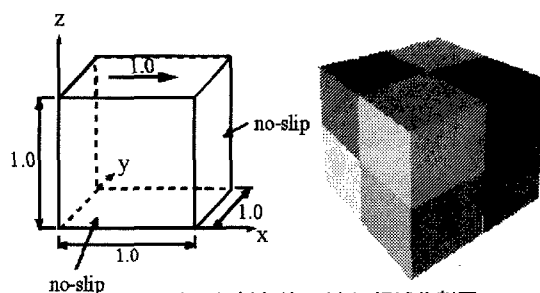


図-1 (左) 解析条件, (右) 領域分割図

解析条件として、図-1(左)のような一辺の長さが1.0の立方体の上面に一定流速を与える。境界条件は上面で $u=1.0$; その他の壁面上でnon-slip条件とした。有限要素分割は、

Key Words: PCクラスタ, 並列計算, 有限要素法
 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27
 TEL. 03-3817-1815 , FAX. 03-3817-1803

各辺を32分割したもの(節点数 35937, 要素数 196608)と、64分割したもの(節点数 274625, 要素数 1572864)を用いた。8台の場合の領域分割図を図-1(右)に示す。レイノルズ数は1000とし、微小時間増分を0.001とした。

(3) 並列化性能評価

32分割の場合の演算速度倍率と並列化効率を図-2に示す。また、64分割の場合の演算速度倍率と並列化効率を図-3に示す。グラフ中でSingle CPUと表されているものは、各ノードで1CPUのみ使用し、共有メモリの並列は行っていないものである。MPI Dual CPUと表されているものは、共有メモリの並列化にもMPIを用いたものである。OpenMPと表されているものは、MPIとOpenMPを組み合わせたものである。また、各ノード数におけるOpenMPおよびMPIの共有メモリ並列化の性能を表-2と表-3に示す。

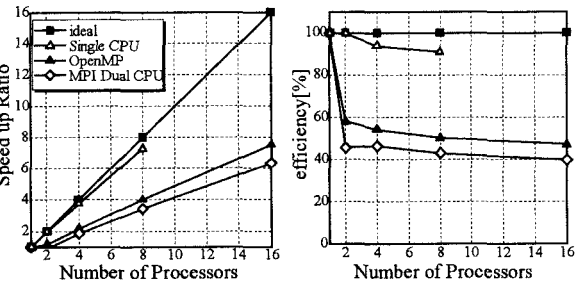


図-2 32分割 (左) 演算速度倍率, (右) 並列化効率

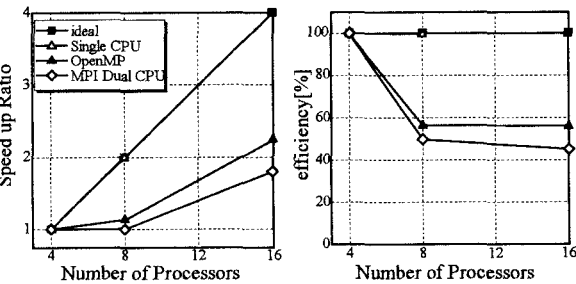


図-3 64分割 (左) 演算速度倍率, (右) 並列化効率

Single CPU の場合は、理想的な倍率が得られているが、MPI を用いた共有メモリの並列化の場合は、全く並列の効果が表れていない。これは、非対称行列を計算しているためメモリバンド幅の要求量が多く、CPU-メモリ間のデータ転送でCPUの競合が起きていることと、領域分割とMPIを用いたことによるオーバーヘッドが性能低下を招いているためと考えられる。OpenMPを用いた場合は、約10から15%の速度向上の効果が起きている。32分割のときはノード数を増やすにつれてOpenMPの効率が落ちていくが、64分割のときはノード数が増えてもOpenMPの効果が表れている。これは、細粒度の場合には計算負荷

が小さくなるためOpenMPのオーバーヘッドにより並列の効果がなくなるが、粗粒度の場合にはOpenMPのオーバーヘッドよりも計算負荷が卓越して並列の効果が表れるためである。

表-2 共有メモリ並列化の性能 (32分割)

-	1node	2node	4node	8node
時間[秒](1CPU)	1017.0	522.5	272.1	140.4
時間[秒](OMP)	880.9	471.2	255.0	136.1
演算速度倍率	1.154	1.109	1.067	1.03
時間[秒](MPI)	1126.9	551.9	297.6	161.8
演算速度倍率	0.902	0.947	0.914	0.868

表-3 共有メモリ並列化の性能 (64分割)

-	4node	8node
計算時間[秒](1CPU)	1457.4	731.94
計算時間[秒](OpenMP)	1290.6	649.46
演算速度倍率	1.129	1.127
計算時間[秒](MPI)	1465.7	810.11
演算速度倍率	0.994	0.903

6. おわりに

本報告では、SMP クラスタを構築し、OpenMP と MPI を組み合わせて有限要素法の並列計算を行い、MPI のみを用いた場合の共有メモリ並列化の性能と比較検討し、以下の結論を得た。

1. OpenMP を用いた場合は、MPI のみで共有メモリ並列化を行った場合に比べて高い性能を示した。
2. 細粒度の計算の場合にはOpenMPのオーバーヘッドが大きくなり、並列化効率が下がることがわかった。
3. CPU-メモリ間のバンド幅やメモリバスの競合のためプロセッサ同士が競合して共有メモリ並列化の性能が低下することがわかった。

今後は、メモリバンド幅が広く、CPU が同時にメモリにアクセス可能なインターリーブ対応のハードウェアを使用して、OpenMP を用いた並列化性能評価を行う。また、商用並列計算機の共有メモリ並列化の指示文を用いた場合の性能との比較を行う。

参考文献

1) 湯浅太一, 安村通晃, 中田登志之 : "初めての並列プログラミング" : 共立出版 : 1999
2) Bil, Lewis, and Daniel J. Berg : "Multithreaded Programming with Pthreads" : Sun microsystems : 1998
3) 青山幸也 : "並列プログラミング虎の巻 SMP 版" : 日本アイ・ビー・エム株式会社 : 1999
4) The Portland Group : "PGI User's Guide Release 3.1" : The Portland Group : 1999
5) T.E. Tezduyar, S. Mittal, S.E. Ray and R. Shih : "Incompressible flow computations with stabilized bilinear and linear equal-order-interpolation velocity-pressure elements" : Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering : 95 : pp221-242 : 1992