土木学会第50回年次学術講演会（平成７年９月）

Ⅰ－222　ワークステーションクラスタによる拡張個別要素法の並列化

竹中工務店　正会員　恒川裕史

1．はじめに

計算機技術の進歩によって様々な物理現象を計算機上で解析することが可能になってきている。しかしながら，一方では要求される解析も非常に高度化してきており，解析に要する時間は短縮されるどころか増大する傾向にある。こうした大規模解析には従来からスーパーコンピュータや並列計算機が用いられている。ところが，これらの計算機は非常に高価で誰もが利用できる訳ではない。そこで近年注目されているネットワークコンピューティングの手法を用いて，ワークステーションクラスタと呼ばれるネットワークに接続された複数台のエンジニアリングワークステーション(EWS)によって拡張個別要素法(EDEM)を並列化する方法を提案する。

2．ワークステーションクラスタ

ワークステーションクラスタは，ネットワークに接続されたEWSをあたかも１台の並列計算機の様に扱うための手法である。並列計算機は計算を行う複数の演算ユニットとそれらを接続する通信機構によって成り立っている。これに対してワークステーションクラスタではEWSが演算ユニットに相当し，LAN（例えばEthernet）が通信機構に相当する。最も単純なmaster-slave型のものでは，1台のEWSで実行されるmaster taskが解析の制御を行い，複数台のEWS上のslave taskが実際の解析を担当する。ワークステーションクラスタの特徴をまとめると，以下の通りである。

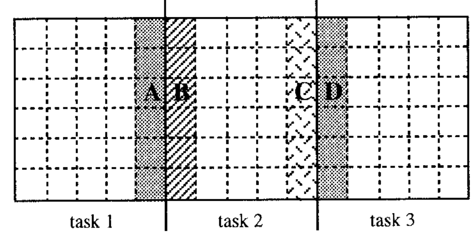
（１）コストパフォーマンスが高い
（２）慣れ親しんだ環境で開発を行える
（３）計算機を有効に利用できる
（４）LANのデータ転送速度は並列計算機の通信機構に比べて格段に遅い

ワークステーションクラスタの構築に当たっては，PVM(Parallel Virtual Machine)を用いた。PVMは仮想並列計算機を構築するためのプログラムパッケージである[1]。

3．EDEMの並列化

EDEM[2]は対象を不連続な要素としてモデル化し，各要素の運動方程式を時間領域で直接に解いていく方法である。したがって，シェアドメモリ型等の通常の並列計算機での並列化は比較的簡単である。すなわち，要素全体を演算ユニットの数に分割し，各ユニットは分担された要素のみの解析を実施する(element法)。ところが，この方法をそのままワークステーションクラスタに応用すると，高速化どころか１台のEWSで計算するよりも時間がかかってしまう。これは，前節の特徴で挙げた様にLANにおけるデータ転送速度が，並列計算機に比べて格段に遅いためである。

FEMにおいて，要素とその境界のデータのみを転送することによって高速な並列化を実現する手法が提案されている[3]。ところが，非連続体の解析手法であるEDEMではこの手法をそのまま使うことが出来ない。そこで，仮想的な境界を定義することによって高速な並列計算を実現する手法を提案する。EDEMでは要素の衝突判定を効率化するために解析領域をメッシュ状に分割する。この分割を用いて仮想的な境界を設定する(grouping法)。図－１に３台のワークステーションクラスタに対する領域分割の例を示す。task1では，次のステップの状態量を算出



図－１　解析領域分割と仮想境界

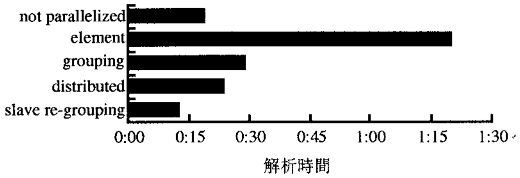
するためにtask1に割り当てられた領域内の要素の他にBで示した領域の要素のデータが必要である。task2では，割り当てられた要素の他にA, Dの領域の要素のデータが必要である。つまり，印を付けたA, B, C, Dの各領域を仮想的な境界として扱うことで，

FEMと同じ手法をEDEMに適用することが出来る。また，仮想境界内の要素のデータをmaster taskとslave taskとの間だけでなく，slave taskの間で直接転送することによって無駄な転送による速度の低下を防ぐことが出来る(distributed法)。

これまでの手法では解析領域の分割を更新する度に要素全体のデータを転送しなければならず，高速化の妨げとなっている。領域の分割は本来はすべてのデータを必要とするのであるが，これをslave taskで行うことが出来れば，こうした速度の低下を防ぐことが出来る。そこで，同じ領域分割で計算している間には，要素は隣接する仮想境界を越えては移動しないという仮説を設ければ，slave task内で再分割を行うことが出来る(slave re-grouping法)。

４．解析例

各並列化手法の効果を確認するために，10,100個の要素からなる150x37.5cmのコンクリート梁の解析を行った。解析にはEthernet上の２台のSGIのEWSを使用し，200ステップの解析に要する時間を計測した。並列化の効果を判断するため，同じ問題を1台のマシンでも解析した。図－２に解析に要した時間を，表－１に各作業に要した時間の割合を示す。



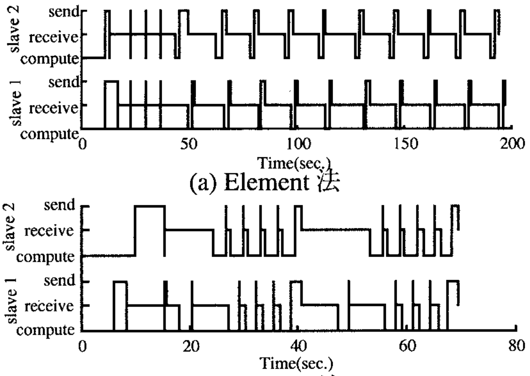
図－２　各並列化法による解析時間

element法では4倍の時間がかかっており，そのうち80%が待ち時間であることがわかる。仮想境界を導入するとデータ転送の量が激減し，groupingd法では1.5倍，distributed法では1.2倍となっている。図－３に，各方法による各slave taskの状態の推移を示す。element法では各ステップ毎に長い待ち時間が生じて

表－１　各作業状態の時間と比率

単位：秒，括弧内は%

	element	grouping	distributed	re-grouping
計算	1127 (11.9)	1258 (36.1)	1095 (38.8)	1166 (75.8)
データ送出	838 (8.9)	209 (6.0)	202 (7.2)	52 (3.4)
待機/受信	7477 (79.2)	2020 (57.9)	1524 (54.0)	321 (20.9)



(b) Grouping法

図－３　スレーブタスクの作業状態の推移

いたものが，grouping法では５ステップに１度になっていることがわかる。slaveでの再分割を行った場合には解析時間は0.68倍(1.5倍の速度)と並列化されていない場合に比べ短縮されている。

５．まとめ

EDEMをワークステーションクラスターを用いて並列化した。本手法ではLANのデータ転送速度の遅さから，効率的な並列化には転送データの削減が必要となる。このためには，（１）EDEMの領域分割を利用した仮想境界の導入（２）仮説の導入によるslaveでの独立な再分割が有効であった。また，この手法をコンクリート梁の解析に使用し，2台のマシンを用いて1.5倍の性能を発揮することが出来た。なお，この並列化は，東洋大学伯野研究室の解析コードを元にして実施しました。

参考文献

1) Geist, A., Sunderam, V., et al.: PVM: Parallel Virtual Machine - A Users' Guide and Tutorial for Network Parallel Computing, The MIT Press, 1994.
2) Meguro, K., Iwashita, K. and Hakuno, M.: Fracture Analysis of Media Composed of Irregularity Shaped Regions by the Extended Distinct Element Method, Structural Eng./Earthquake Eng., Japan Society of Civil Engineers, Vol. 8, No. 3, pp. 131-142, 1991.
3) Yagawa, G., Yoshioka, A., Yoshimura, S. and Soneda, N.: A Parallel Finite Element Method with a Supercomputer Network, Int. J. of Computers & Structures, Vol. 47, No. 3, pp. 407-418, 1993.