

並列ベクトル計算機「数値風洞」によるFFTプログラムの性能評価

6H-9

福田 正大、吉田 正廣、中村 孝 (航空宇宙技術研究所)
 村瀬 丈夫、小山 隆司 (富士通株式会社)

1. はじめに

数値風洞は、航空宇宙分野での計算空気力学(CFD)を高速に処理することを目的に、航空宇宙技術研究所と富士通が共同開発した並列ベクトル計算機である。航空機まわりの流れや、翼列を通過する流れなどをシミュレーションする場合には、差分法や有限要素法による離散化手法が採用される。乱流のシミュレーションにもこれらの離散化手法が用いられるが、フーリエ級数による展開が最も普通で使用されており、乱流シミュレーションの計算時間の中に占める比重も大きい。乱流現象は本質的に3次元であるために、フーリエ変換も3次元が対象となる。ここでは、数値風洞による3次元FFTプログラムの処理性能を実測に基づいて報告する。

2. 数値風洞について

数値風洞の構成を図1に示す。数値風洞は140台の演算処理装置(PE)と2台のシステムマネージャ(コントロールプロセッサ、CP)がクロスバー・ネットワークにより結合されている。各PEは256MBの主記憶を持ち、1.7GFLOPSのピーク性能を有している。PE間データ転送は「ムーバ」により処理される。データ転送と演算は非同期に行える。跳びDを持つ連続ベクトルまたはストライド付きベクトルVの集合(V+D+V+D+...+V)が1回で転送可能である。PE間のデータ転送速度は421MB/秒×2である。

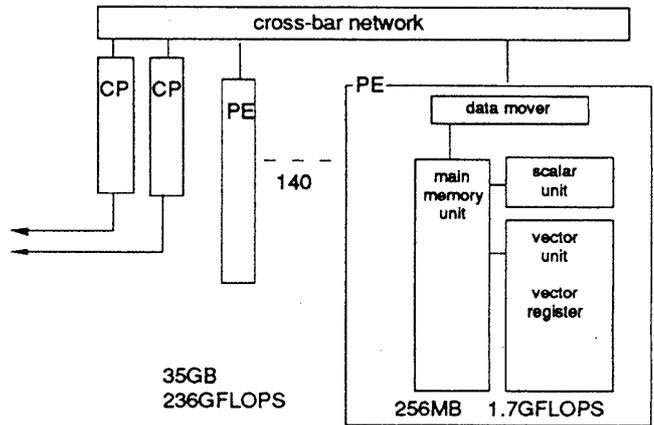


図1 NWT構成図

3. FFTプログラムの性能評価

3.1 評価に供したFFTプログラムの構造

並列化のためのデータ分割は配列宣言の2次元目で行っている。また、常に連続ベクトルアクセスとなるようにするために、3次元目に沿ってフーリエ変換を行い、1次元目でベクトル化を行っている。プログラム全体の流れは、1) 初期値設定、2) z軸方向のフーリエ変換の実施、3) x軸方向のフーリエ変換のための同一PE内でのデータ転送、4) x軸方向のフーリエ変換の実施、5) PE間高速データ転送のための同一PE内でのデータ転送、6) y軸方向のフーリエ変換のためのPE間データ転送、7) y軸方向のフーリエ変換の実施、8) 元のデータ配置に戻すためのPE間データ転送、となっている。

初期値設定は全PEで同じ内容を実行する。その処理に要する時間は、全体の処理時間に対しては無視できる程に小さい。実際にフーリエ変換を行うサブプログラムの演算処理を行うDO-LOOPは2群あり、1番目のループの最内ループでの演算数は加算が6回、乗算が4回である。2番目のループでは加算が4回である。

Performance Evaluation of the FFT-3DX code on the Parallel Vector Machine "NWT"
 Masahiro FUKUDA, Masahiro YOSHIDA, Takashi NAKAMURA; National Aerospace Laboratory,
 Takeo MURASE, Takashi KOYAMA; Fujitsu LTD

3. 2 FFTプログラムの処理における台数効果
 数値風洞の並列計算機としての台数効果を測るために 128^3 、 256^3 、 512^3 の3ケースについて台数を1台 (256^3 の場合は4台、 512^3 の場合は32台) から128台まで倍々に増やして計算時間、転送時間を測定した。それぞれ最低台数の時の値で正規化した結果を図2に示す。

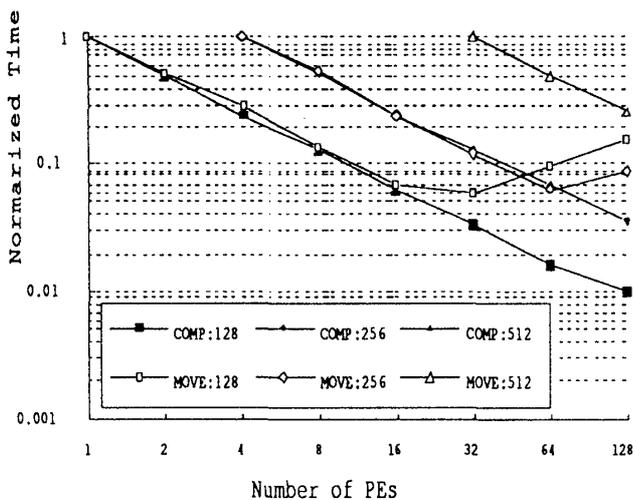


図2 FFT計算時間

フーリエ変換の大きさを M^3 、全体の計算量を L 、PE台数を P とする。3. 1で述べたプログラム手順からわかるように、各PEが分担する計算量は L/P となるので、計算に要する経過時間も $1/P$ で減少することが期待される。PE間のデータ転送については、1台の PE_i が分担しているデータ量は M^3/P であり、 PE_i が PE_j に送るデータ量は M^3/P^2 である。 PE_i は P 台のPEの全てにデータを送る必要があるため全体として M^3/P に比例する転送時間が必要になる。一方、パケットを作るためのオーバーヘッド等台数に比例する時間もあり、 P が大きくなって転送量が少なくなってくれば、この部分が顕在化してくる。即ち転送に要する時間は、最初 P の増加と共に減少するが、その後 P の増加と共に増加することが予想される。

図2の結果はこれらの予想が実際に正しいことを示している。台数に比例するオーバーヘッドの中身についての詳しい調査は今後の課題である。

なお、3つの M について現在得られているFFT逆変換での最短時間と処理速度を表1に示す。

表1 性能

	P (台数)	時間 (ミリ秒)	処理速度 (GFLOPS)
128^3	32	23.1	8.7
256^3	128	60.8	30.6
512^3	128	269.3	62.8

4. むすび

数値風洞は粒度の大きくてしかも揃っている並列処理を計算モデルとして開発した計算機であるが、FFTのように最内ループの演算数が少ない処理でも高性能を発揮することが確かめられた。並列計算機のオーバーヘッドとして最大の問題であるデータ転送についてもクロスバー・ネットワークによる高性能が実現できている。転送量が少なくなるとソフトウェアオーバーヘッドが顕著になるので、その改善が必要である。

参考文献

- 1) 三好甫, 「航技研超高速数値風洞 (UHSNW T) の構想」, 航技研TR-1108, 1991
- 2) 福田正大他, 「数値風洞の言語処理ソフトウェア」, 航技研SP-16, 1991
- 3) 中村孝他, 「NWT並列FORTRANに基づく並列評価」, 航技研SP-19, 1992
- 4) 中村孝他, 「CFDプログラムによるNWTの性能評価」, 航技研SP (to appear)