

ベクトル並列スーパーコンピュータVPP500のベクトル処理\*

6K-1

持山 貴司\*\*  
富士通株式会社

1. はじめに

VPP500では、最大222台の要素計算機(PE)で並列実行することにより355ギガフロップスの演算性能を実現する。VPP500の主な特徴は、1) PEに高い数値演算能力を持つベクトル処理を導入したこと、2) PEの主記憶を1ギガバイトとし、強力なデータ供給能力と大容量分散主記憶を実現していること、3) PE間結合に高速クロスネットワークを採用したことである。1)~3)により、大規模演算処理が少ない台数のPEを高速ネットワークで接続することで実現できるため、並列オーバーヘッドが削減され高い並列実効性能が得られる。また、1)、2)によりVPシリーズのFORTRANプログラムをVPP-FORTRANで再コンパイルするだけで1 PE上で実行可能なことも大きな特徴である。本稿では、要素計算機にベクトル処理を選択した経緯と、そのハードウェア構成、命令の実行形態を述べ、最後にLINPACKベンチマークの性能について紹介する。

2. ベクトル処理の選択

並列処理ではプログラムの分割によりプロセス間の通信、同期などのオーバーヘッドが発生する。一般にPE数の増加にともなってこの並列化オーバーヘッドも増加する傾向にあり、高効率並列実行の妨げとなる。すなわち、①高い並列効率を実現するためにはプロセスレベルでは並列度を適度に抑えて粗粒度並列処理にする必要がある。このような粗粒度並列処理では各プロセスの中に並列処理可能な部分が多く残っているため、②PEが命令レベルの細粒度並列処理の出来る高速な数値演算能力を備えることにより高いシステム性能が得られる。次に、数値演算能力の観点からスカラ処理とベクトル処理を比較してみると、(1)一つのベクトル命令はベクトル長分のスカラ命令列に相当するため、スカラ処理で演算処理当たりに必要な命令バンド幅はベクトル処理に比べて激増する。

\* Vector Processing Architecture of VPP500  
\*\* Takashi MOCHIYAMA, Fujitsu Limited

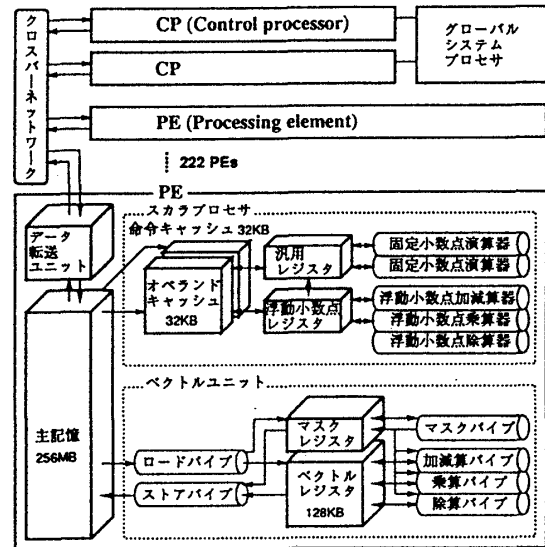


図1: VPP500システム構成

(2)ベクトルコンパイラは配列に対する多様なメモリアクセスパターンを認識し、効率の良いメモリアクセスを可能とする。また、(3)スカラでのキャッシュへのロードが要求駆動であるため、キャッシュミスヒット時のペナルティが大きいのに対し、ベクトルのVRではプログラムによりベクトルロード命令のスケジューリングを行うことによりメモリレイテンシを隠蔽できる。(4)ベクトル化でループが減少し、ループの戻り分岐などのオーバーヘッドが削減される。以上のように③ベクトル処理の方が、同一データに対するスカラ処理の繰り返しよりも高速となる。さらに、ベクトル機構を採用することにより従来のVPシリーズで蓄積されたコンパイラによる最適化の技術やプログラムの高速化のノウハウが継承され、④チューニングによる高速化が容易である。

3. ハードウェア

ベクトル処理はスカラプロセッサと汎用レジスタ、浮動小数点レジスタ、主記憶を共有するベクトルコプロセッサで実行される。

3.1 パイプライン構成

ベクトルコプロセッサは128キロバイトのVRを

中心に、ロード、ストア各1本のアクセスパイプ、ADD、MLT、DIVの演算パイプ各1本、マスク演算を行うマスクパイプ1本、およびこれらを管理する命令パイプで構成される。

### 3.2 VR

VRはベクトル処理の中心であり、その構成は命令の立ち上がり、並列実行の可不可、最適化の容易さに大きく関係する。1つのVRは1要素8バイトのデータ64要素からなり、0~255の番号で識別される。また、ベクトル長VLにより1~32個の範囲で連結され、 $VL \leq 8$ で連結なし、 $1025 \leq VL$ で32個連結される。表1に各オペランドをバンク0から読み出し、または書き込みを開始するタイミングを示す。

表1 VRバンクタイミング

| バンクタイミング名 | E1  | E2  | F1  | F2  |
|-----------|-----|-----|-----|-----|
| READポート   | ER1 | ER2 | FR1 | FR2 |
| R/Wポート    | LDW | EW3 | SDI | FW3 |

表中記号の意味

ER1, FR1 : ADDまたはMLTの第1オペランド(READ)  
 ER2, FR2 : ADDまたはMLTの第2オペランド(READ)  
 EW3, FW3 : ADDまたはMLTの第3オペランド(WRITE)  
 LDW : ロードの第3オペランド(WRITE)  
 SDI : DIVの第1, 2, 3オペランド(READ, WRITE)  
 : または、ストアの第2オペランド(READ)  
 : または、間接アドレスの読み出し(READ)

### 3.3 アクセスパイプライン

ロード1本とストア1本が、それぞれ8要素/クロックで同時独立に動作する。連続アクセス、固定ストライドアクセス、VR間接アクセスをサポートする。

### 3.4 演算パイプライン

扱うデータは64ビット論理データ、32ビット整数、およびIEEEフォーマットの単精度/倍精度の浮動小数点数である。加算/減算/論理演算のADDパイプ、乗算のMLTパイプ、除算のDIVパイプが各1本ずつある。ADD、MLT、DIVは同時独立に動作可能である。ADD、MLTは8要素/クロック、DIVは8要素/7クロックで動作する。

### 3.5 命令パイプライン

ベクトル命令を受け取るフェッチキュー、デコード部、命令発信の待ち合わせを行うスタートキュー、実

行中の命令を管理する実行管理部からなる。フェッチキューは3命令、スタートキューはアクセス用2命令と演算用2命令あり、計7つの未開始命令をキューイング出来る。互いにレジスタ干渉のないアクセス命令と演算命令の間では追い越しが行われる。実行管理部はロード3命令、ストア3命令、ADDとMLT合わせて6命令、DIV1命令、マスク2命令までの並列実行を可能とする。

### 4. 命令の実行形態

スカラプロセッサでフェッチしたベクトル命令はフェッチキューに転送され例外チェック、VR干渉チェックを経て各実行パイプに発信される。発信された命令は、特に指定が無い限り非同期に並列実行される。ベクトル命令によって生じたプログラム例外はベクトル制御レジスタVCRに表示さる。転送された全ベクトル命令の終了はプロセッサ状況信号によりプログラムで認識出来る。

### 5. LINPACKベンチマーク性能

単一プロセッサでのLINPACK自由元の結果は1.5GFLOPSで、ピーク性能に対して93.8%という高い効率を得られている。また、同じく自由元での並列実行においては16PEで21.73GFLOPS(84.9%)、64PEで81.1GFLOPS(79.2%)、100PEで120.4GFLOPS(75.3%)が得られている。

### 6. おわりに

VPP500の要素計算機にベクトル処理を採用した経緯を述べ、パイプライン構成、命令実行形態について概説した。また、LINPACKベンチマークにおける性能について紹介し、初期目標である高い並列実行効率の実例を示した。今後は、種々の実用コードでより詳細な評価を行う予定である。

#### 参考文献

[1] 中島、北村、田村、滝内。"VPP500スカラプロセッサの特徴"。情報処理学会研究会報告94-ARC-104-17, pp129-136, Jan, 1994

[2] 石坂"ベクトル並列スーパーコンピュータVPP500の並列処理"。情報処理学会第49回全国大会, 6K-2, Sep, 1994