

科学技術計算用データ駆動計算機 SIGMA-1のモニタ

5C-2

関口智嗣 平木 敬。 島田俊夫
(電子技術総合研究所)

1. はじめに

現在当所で開発を進めている科学技術用データ駆動計算機SIGMA-1(1)は並列計算機という特徴とデータ駆動メカニズムによる実行制御というふたつの特徴を兼ね備えている計算機である。この並列計算機システムを実用化するためにはユーザの立場にとって現状の計算機システムとの差異が小さい方が望ましい。したがってユーザとシステムの間には何等かのインターフェース、すなわちモニタ(OSと呼ぶにはまだ規模が小さいのでここではモニタとする)が必要となる。本発表ではSIGMA-1におけるモニタの必要条件と十分条件を述べ、具体的にデータ駆動計算機の資源の一つであるカラーの管理機構について触れる。

2. SIGMA-1モニタの必要条件

モニタはいわゆるコマンド解釈機構のシェルとサービスプログラムの集合であるカーネルから構成されている。シェルはユーザとモニタとのインターフェースであり、コマンド体系を除いて従来のモニタと大きな違いはない。したがってここではSIGMA-1モニタのカーネルについてのみ考察を行う。

SIGMA-1モニタのカーネルに最低限組み込まれるべき機能としては従来のモニタでも行ってきた割り込み処理、例外処理、入出力処理およびプロセス管理などである。これに加えて、並列処理における独自の機能、並列アクティビティの制御がモニタに要求される。すなわち並列アクティビティには命令単位から関数単位に至るまで様々なレベルが存在するが、野放図に並列アクティビティの実行を放置しておくとし並列プロセッサの有限の資源が枯渇する。したがって何等かの制御機構を導入する必要がある。これにはプログラム実行以前にコンパイラで並列実行可能な単位を抽出し静的にプロセッサに割り付けて制御する方法と、実行中にプロセッサを管理しながら並列アクティビティを動的に割り付けながら制御する方法がある。静的な割り付けは全ての並列アクティビティを実行前に把握する必要があるが、これが可能となる応用問題は限定されたものとなる。また、一般にコンパイラに与える負担が大きい。したがって、並列計算機においてその能力を十分引き出すには動的な並列アクティビティの制御が不可欠であり、モニタによる管理が必要となる。

3. SIGMA-1モニタの十分条件

現実のハードウェアが存在するSIGMA-1においてSIGMA-1モニタに必要な機能がどの様に実現されるのが望ましいかを考える。SIGMA-1システムは演算処理部、ホスト計算機部、メンテナンス部の3部からなる複合システムアーキテクチャ構成を採用している。演算処理部は命令レベルデータ駆動高速数値演算処理装置であり、ホスト計算機部は汎用ミニコンピュータを用いユーザインターフェースを主に司る装置であり、メンテナンス部は演算処理部のデバッグ支援および実行支援を行うフォンノイマンプロセッサである(2)。この様な複合システムアーキテクチャにおいてはモニタ機能を構成要素の特徴に応じて分散してやるのが性能向上のためにも望ましい。

まず、SIGMA-1システムにおいては高速の演算処理部とホスト計算機部の速度が3桁以上も異なるためホスト計算機部では演算処理部を全て制御することは事実上不可能である。したがって高速演算処理部の制御は自分自身もしくはメンテナンス部で行う必然性が生じてくる。さて、データ駆動メカニズムを採用している演算処理部では、従来のモニタ(OS)において資源管理のために必要であったリスト作成機能や索表機能が強力かつ高速なマッチング機構を用いて簡単に実現することができる特徴がある。さらに、大規模なリスト作成においては構造体処理装置のマッチングおよびキュー機能を用いることでも実現可能である。また、メンテナンス部はフォンノイマンアーキテクチャを採用しているため、データ駆動メカニズムだけでは実現が困難とされているシステムデッドロックの検出、回避、回復の処理や、外部周辺装置とのI/O処理などが比較的簡単に実現でき、モニタ機能の一部を強力に担当することができる。したがって、ホスト計算機部ではユーザのソフトウェア開発環境、高速演算処理部では資源管理および割り込み処理、メンテナンス部ではデッドロック検出等およびI/O処理というように機能分散させることが効果的である。

4. SIGMA-1におけるカラー管理

SIGMA-1はデータフローのダイナミックモデルを採用し、関数の論理空間やループのUnfoldingによる展開された並列アクティビティの識別は全てデータに付随

"On a Monitor of Dataflow Computer SIGMA-1,"

Satoshi SEKIGUCHI, Kei HIRAKI and Toshio SHIMADA,
Electrotechnical Laboratory.

するタグでおこなう。すなわち、パケットのタグフィールドに関数識別子とループ識別子を持たせている。具体的には図1で示すようにループ識別子として10ビットのIフィールド、関数識別子（カラー）として8ビットのLNフィールドがある。さらに、10ビットのDフィールドは関数毎に与えられたプログラムの相対アドレスを表現する。

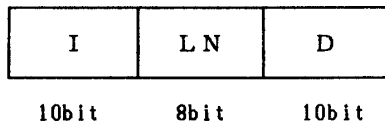


図1 SIGMA-1のタグフィールド

タグフィールドはデータ駆動計算機にとって本質的に貴重な資源であるため、この28ビットをいかに効率的に活用するかはSIGMA-1の計算能力を決定するといつてよい。現在は各フィールドを所期の設計に沿ってそれぞれ独立な固有の用途に用いている(3)が、これは設計の簡便さと実行の容易さを追求した結果であるため、以下に述べるような問題点を抱えている。

まず、Dフィールドでは関数毎の相対アドレス表現で行っているが、これは各関数をリロケートブルなものとし、LNで管理されたリンクレジスタをベースアドレスとして実効アドレスとするためである。しかし、Dフィールドの10ビットによる制限はひとつの関数単位が1Kワードを超過できないことであり、超過した場合は新たな関数呼び出しを行って他のカラーを獲得する必要がある。関数呼び出し（CALL命令）が発生すると、コーリーが空きカラーを獲得し、論理空間および環境を構築する。コーリーが新たな環境を構築したのちコーリーにそのことを通知し、コーリーはアーギュメントパッシングを行う。したがって、サブルーチン呼び出しおよび復帰処理の手続きが複雑になっており、オーバーヘッドが大きい。また、小さな関数では10ビットの空間が広過ぎてDフィールドに無駄が生じる。

LNフィールドが8ビットしかないことによる問題点は、並行に動作するしないにかかわらず、同時に活性化できる関数の上限の数が256という比較的小さな数でしかないことである。再帰呼び出しによる活性化関数の増大は科学技術計算の場合あまり問題とならないが、先に述べたようなDフィールドの不足による関数呼び出しの発生や、次に述べる多重ループの処理、およびシステムコールなどで同時に活性化すべき関数は256では不足すると考えられる。

Iフィールドが10ビットしかないことによる問題点はループのUnfoldingの際に1024までしかループが展開されないし、SIGMA-1ではIの回収は行わないため1024以上のループを実行する場合必ず関数呼び出しを伴う(4)。多重ループの場合も同様に最内側ループ以外は全て内側のループボディを関数として呼び出し、新たにLNを獲得して実行する。しかし、Unfoldingは逐次的に解いても実行可能なものについて行うのが原則で

あるため、内側ループを関数呼び出しで実行するとLN資源を取り合うことにより、デッドロックが発生し計算不能となる恐れがある。

以上述べてきたような問題点を解決するため同一ハードウェアでありながら、アーキテクチャの変更を行う。Dフィールドの無駄を省くためリロケートブルなアドレッシングをやめ、プログラムを絶対アドレスで記述し、1K毎にインデックスレジスタを用いる。これにより関数のカラーをコーリーが決定しアーギュメントパッシングを即座に行うことができる。実際のカラーはコーリーが実行される空間で変換され、モニタはその対応表を管理する。また、IフィールドとLNフィールドを一体化した18ビットのPフィールドとし（図2）、関数呼び出しのたびに新たなPカラーを与える。その関数内でループ処理の必要が生じたとき従来のIに相当するカラーを獲得する。これらの意味的な違いの管理は全てモニタで行うことで実現できる。モニタの介在が行われることによりオーバーヘッドが増加するが、資源を有効に活用することが可能になることのメリットが大きいと考える。

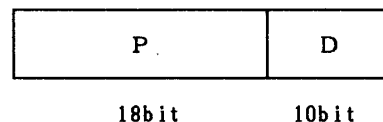


図2 タグフィールドの新たな構成

5. まとめ

データ駆動計算機SIGMA-1におけるモニタの必要条件、十分条件を抽出し、SIGMA-1の複合システムアーキテクチャに応じたモニタの機能分散を行った。また、具体的に論理資源を有効に使うための管理方式の必要性について述べた。現在のSIGMA-1アーキテクチャの問題点が全て解決したわけではないが、モニタの介在により同一ハードウェアでもアーキテクチャが柔軟に変更でき、今後の解決の可能性を示した。

なお本研究は大型プロジェクト「科学技術用高速計算システム」の一環として行った。研究の遂行にあたり、御指導、御討論頂いた柏木電子計算機部長、弓場計算機方式研究室長及び同僚諸氏に感謝いたします。

【参考文献】

- (1) 関口、平木、島田：科学技術計算用データ駆動計算機SIGMA-1の概要、電子通信学会、データフローワークショップ、1986。
- (2) 平木、西田、関口、島田：科学技術計算用データ駆動計算機SIGMA-1のLSI化構成技術、電子通信学会、EC85-39、1985。
- (3) 平木：SIGMA-1命令設計、電子技術総合研究所情報部門研究瓦版、ETL-RM-85-22、1985。
- (4) 島田、平木：科学技術計算用データ駆動計算機SIGMA-1のループカウンタのオーバーフロー処理、第30回情報処理学会全国大会、4C-11、1985。