

データ駆動計算機EM-4における待ち合せ機構

1N-7

山口喜教 坂井修一 平木敬 児玉祐悦 弓場敏嗣

(電子技術総合研究所)

1. はじめに

現在開発中のデータ駆動計算機システムEM-4^[1]は単純化した命令セットを有するシングルチップ化された要素プロセッサ^[2,3]によって構成される。EM-4においてはデータ駆動制御の本質的なオーバーヘッドであると考えられる種々の待ち合せ方式の効率的な実現を目指し、待ち合せ機構の単純化、高速化が図られた。EM-4におけるデータの待ち合せの対象を整理すると次の4つに分類される。

- (1) 命令レベルにおけるオペランドの待ち合せ
- (2) 強連結ブロック^[1]における複数データの待ち合せ
- (3) 関数レベルにおける引数の待ち合せ
- (4) 要求駆動を実現するための待ち合せ

以下では、上の各々についてその待ち合せ機構の考え方および方式について述べる。

2. 命令レベルの待ち合せ機構

オペランドの待ち合せにおけるハードウェアやそのための処理時間を低減することはデータ駆動計算機のアーキテクチャにおいて重大な課題の一つである。動的なデータ駆動方式においては待ち合せ記憶に連想処理の機構が必要とされる。一方、静的なデータ駆動方式においてはオペランドの待ち合せ場所は予め定まっているため特別な連想処理を必要とはしないが再入可能性などの点で柔軟性に欠けている。このためEM-4においては、柔軟性を確保しつつ連想処理機構を用いずに待ち合せ記憶を実現する方式を考案した。

EM-4は関数を単位としてその起動時にその実行インスタンスを1つのグループに割り付けるが、この時にオペランドの待ち合せ領域が確保される。この領域はオペランドセグメントと呼ばれ、ある定まった単位で確保される。一方、関数の命令コードもテンプレートセグメントと呼ばれる固定長の領域に置かれている。両セグメント内におけるオペランドの番地と命令の番地には1対1の対応関係がある。オペランドの待ち合せは命令に対応したオペランドセグメント番地に待ち合せパケットを置くといった単純な操作で容易に実現が可能となる。

待ち合せ機構の詳細を図1に示す。データの待ち合せを必要とする2オペランド命令を起動するパケットが到着した場合の処理は以下ようになる。このとき、パケットはセグメント番号と待ち合せをするオペランドのセグメント内変位値(=d)を持っているとする。

- ① 指定されたオペランドセグメント内の先頭番地からの変位がdとなる番地のメモリの内容を読み出す。この番地には図1に示すように2ビットのWCF(待ち合せ条件フラグ)フィールドがあり、その内容に従い次の処理が異なる。
- ②-① (WCF=00の時)

この場合には、すでに待ち合せているパケットはないことを示している。したがって、このパケットのWCFフラグ、データタイプ、データを同じ番地に書き込む。

②-② (WCF=1xの時)

この場合には、すでに待ち合せているパケットがあることを示しているため。この番地に格納されているデータタイプ、データを読みだして、新たに到着したパケットのデータタイプおよびデータとともに命令実行のオペランドとする。同時に、この番地のWCFをクリアする。これは、このオペランドセグメントが解放されて、新たな関数に割り当てられたときに、待ち合せフラグがリセットされていることを保証するためである。

上述の操作はすべてが1クロックで実行される。なお、命令コードの読み出しは、図1に示されている様にオペランドセグメントの先頭番地にテンプレートセグメントへのポインタが置かれているために、このポインタの値にdを加えた番地を読み出すことで行なわれる。このポインタは関数が動的に割り付けられた時点で設定される。

1オペランド命令を起動するパケット、特殊パケットではデータの待ち合せを必要としないためにオペランドセグメントの領域を確保する必要がない。したがって、オペランドセグメント領域の大きさは、テンプレートセグメント中の2オペランド命令の数だけあればよい。EM-4では、データ駆動命令においては命令の配置はどのようになってもよいという性質を利用して、2オペランド命令のみをまとめて連続した番地に格納することによってオペランドセグメント領域を有効に使用する方式を採用した。しかしながら、EM-4においては、オペランドセグメントは128語、テンプレートセグメントは256語を単位として固定長の大きさで割り当てられるため、メモリの使用効率がある程度低下するといった問題は残っている。

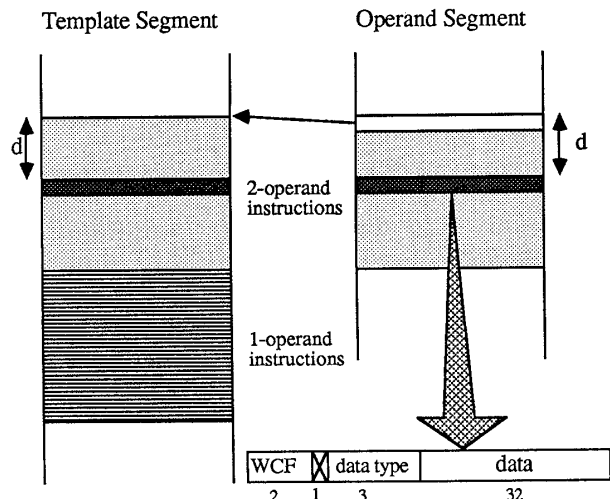


図1 EM-4における命令レベルの待ち合せ機構

3. 強連結ブロックにおける待ち合せ機構

強連結モード^[1]のブロックに入る際には全ての必要なデータが到着していることを確認することが必要である。これを実現するための機構としてEM-4ではMSYNCというマクロ命令を設けている。EM-4のマクロ命令は強連結の命令群として実行されるが、その際にはオペランドセグメント上に連続した待ち合せ領域が確保されていなければならない。この先頭番地は待ち合せデータの到着数を保持するためのカウンタとして用いられ、以下の領域は到着データの格納場所となる。各データが到着する毎にMSYNCのマクロ命令が起動される。MSYNCの操作は以下の如くである。

- ①指定された格納場所にパケットをしまい、カウンタ値をインクリメントする。
- ②オペランドセグメント上のカウンタ値が待ち合せオペランドの総数と一致しているかどうかを調べる。一致していなければ、MSYNCの強連結ブロックを終了する。一致していれば、待ち合せ領域に格納されている全てのパケットを読み出す。さらにカウンタおよび待ち合せ領域をリセットし、MSYNCの次の命令から実行する。

強連結ブロック内における命令の実行においてはオペランドの待ち合せはおこなない。このため強連結ブロック内の命令は1オペランドの命令と同様な位置に置かれる。すなわち、強連結ブロック内の命令では待ち合せ領域であるオペランドセグメントは確保されず、テンプレートセグメントに命令コードのみが置かれる。強連結ブロック内では、2オペランド命令が必要とするデータはオペランドセグメントではなく、レジスタから持ってこられる。オペランドは全てレジスタを介して受渡しされる。

4. 関数レベルにおける待ち合せ機構

関数における引数の待ち合せは関数の起動方式と密接に関連している。EM-4における関数起動は、ネットワークによって自動的に小さい負荷を持つプロセッサ群を見つけ、このプロセッサ群内に空のオペランドセグメントを確保することによってなされる。一方、引数の受渡しは呼ぶ関数の中でPASSARGなるマクロ命令を実行することによってなされる。このマクロは引数のデータと呼ばれた関数のインスタンスのオペランドセグメント内の定まった番地に送りつける動作をする。呼ばれた関数の中では関数内のデータと同様に引数が到着することによってデータ駆動制御で命令の実行がただちに発火される。このようにして、EM-4における関数レベルでの待ち合せ機構は呼ばれる関数インスタンスのオペランドセグメントが決定されれば、スケジューラなどの介在なしに引数の伝達を即座に行なうことができる。

5. 要求駆動を実現するための待ち合せ機構

EM-4ではEM-3で開発した擬結果という概念をデータ型の1つの表現形態として内蔵している。このデータ型の表現と強連結モードによる制御機構を組み合わせることによって、要求駆動などのより高レベルな待ち合せ機構を容易に実現することが可能である。これを実現するためには、通常の間数呼び出しの機構に加えて、この関数の値を必要としている命令への戻り番地等を待ち合せキューにしておく機構が必要である。ストリームや構造体メモリを利用したキューの実現は高価であるため、EM-4においてはよりオーバーヘッドの少ない方式でこの待ち合せキューを実現する手段を用いることとする。キューはリスト構造で表現され、キューの処理機構はINPUT_QUEUE、OUTPUT_QUEUEという関数によって処理される。これらの操作は副作用

によってリスト構造の変更を行なうことによって効率的にインプリメント可能であるが、この際にこれらのリスト構造を操作する命令は排他的に実行されなければならない。純粹のデータ駆動制御においてはこのような実行形態を実現することはできないが、EM-4における強連結モードを利用することによって、排他制御を行なうこのような機構を容易に実現できる。EM-4の強連結モードを用いたINPUT_QUEUE操作の例を図2に示す。

キューを用いた待ち合せ機構を強連結モードによって実現することによってデータ駆動における待ち合せ機構のオーバーヘッドを抑えることが可能であり、この応用としてマネージャやデータベースに対する排他的制御を効率的にインプリメントすることが可能となる。

6. おわりに

シングルチッププロセッサを用いた高並列データ駆動型計算機システムEM-4における種々のレベルでのデータの待ち合せ機構について述べた。本システムではその要素プロセッサEMC-Rの設計においてハードウェア構成の単純化および高速化を指向し、①関数単位のセグメンテーション化を利用したオペランド待ち合せ機構の高速化、②命令の強連結実行による、種々の同期機構実現の単純化、等が図られている点について特徴がある。今後は、要素プロセッサEMC-Rの試作を試み、これを用いたEM-4のプロトタイプを製作することによって、待ち合せ機構の評価および強連結モードを利用したより高レベルの待ち合せ機構について検討を加える予定である。

謝辞 本研究を遂行するにあたり御指導、御討論いただいた田村電子計算機部長ならびに計算機方式研究室の同僚諸氏に感謝いたします。

参考文献

- [1]坂井、山口、平木、弓場：データ駆動計算機EM-4のアーキテクチャ、情処計算機アーキテクチャ研究会66-7(July 1987)。
- [2]坂井、山口、平木、弓場：データ駆動型シングルチッププロセッサEMC-R、データフローワークショップ87(Oct. 1987)。
- [3]坂井、山口、平木、児玉、弓場：データ駆動計算機EM-4における要素プロセッサのシングルチップ化の検討、第37回情処全大発表予定(Sept. 1988)。

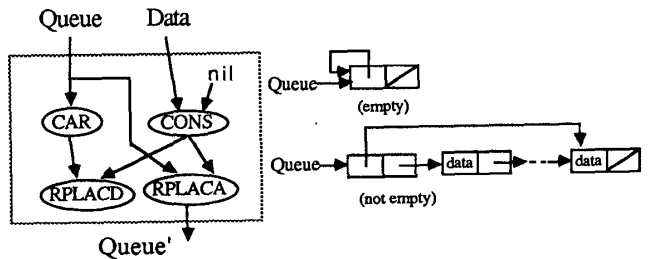


図2 強連結モードによるINPUT_QUEUEの操作例