

1H-6 発注／受領型並列計算機の例外機構と保護機構

田村 仁、冨澤真樹、五十嵐智、阿刀田央一、斎藤延男
東京農工大学 工学部 数理情報工学科

1. はじめに

我々は CALL-RETURN 型を拡張した並列手続き呼出しを計算モデルとした並列計算機の制御機構 [1] [2] を提案している。制御モデルは、基本的な3つの並列リンク命令により実現される。DEMAND 命令によって、指定した手続きをもつプロセッサ要素のDQ (Demand Queue) に発注が積まれる。各プロセッサ要素はDQに積まれている各発注に対して、それぞれ独立の環境を与えてインスタンスを動的に生成実行する。インスタンスは、DELIVER 命令によって実行終了し、結果を返して消滅する。ACCEPT命令は、DEMAND命令で生成されたインスタンスと同期を取り、実行結果を受け取る。本稿では、このような発注／受領型並列計算機の例外処理機構およびシーケンスについて述べる。

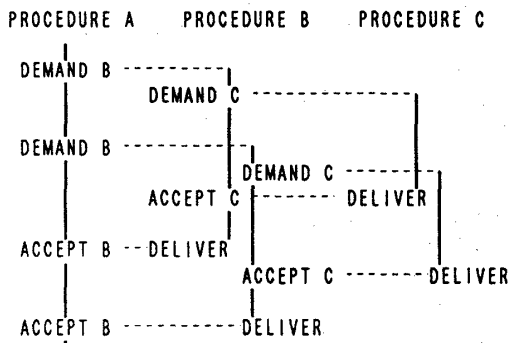


図1 制御フロー

2. 並列計算機のモード

発注／受領型計算機ではユーザの手続きに対する制御は多重化され、PE (Processor Element) は通常多重環境を持ち、手続きに対するインスタンスを実行している。すなわちインスタンスには論理的なPEが与えられる。しかしエラー処理等物理的なPEに依存しなければならない処理があり、その境界が明確に区分される必要がある。前者をM (Multiplex) モード、後者をS (Singular) モード

という。通常のPE (メンバPE、MPE) はM、S両モードを持ち、TRAP 命令や AOF (Analysis Or Freeze) 命令等の特別な命令によりMモードからSモードに移転する。この他に並列計算機全体でただ1箇所存在し、系全体を監視するモードが必要で、これをK (Kernel) モードとする。このKモードで動作するPEはハード的に特別な機能 (凍結用割込み元回路等) を持つカーネルPE (KPE) 1個だけである。

逐次計算機ではユーザ、スーパーバイザの2モードを持つものが多いが、上記のように発注／受領型並列計算機では3モードが必要である。

入出力装置は通常KPEに複数接続される。このためKPEはKモードとSモード両方で動作する。一方入出力専用PEや特殊なハードウェアを持つPE等が含まれる場合、それら (専用処理PE、SPE) はSモード専用となる。

3. モード界面

並列計算機における保護もPEのモード境界上に区分を設定することで整合する (図3)。Sモードからだけアクセスできる空間上に制御構造おくことで、通常Mモードで動作する他PEから制御構造を保護する。

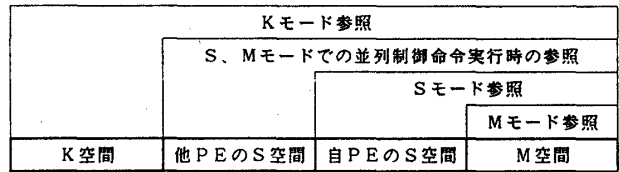


図3 並列計算機のメモリ保護

モード間遷移は例外によって行われる (図4)。ユーザ手続きのインスタンスは、TRAP 命令および AOF 命令、各種のエラーによる例外等で、自分をMモードで実行しているMPEをSモードに移転させる (④)。

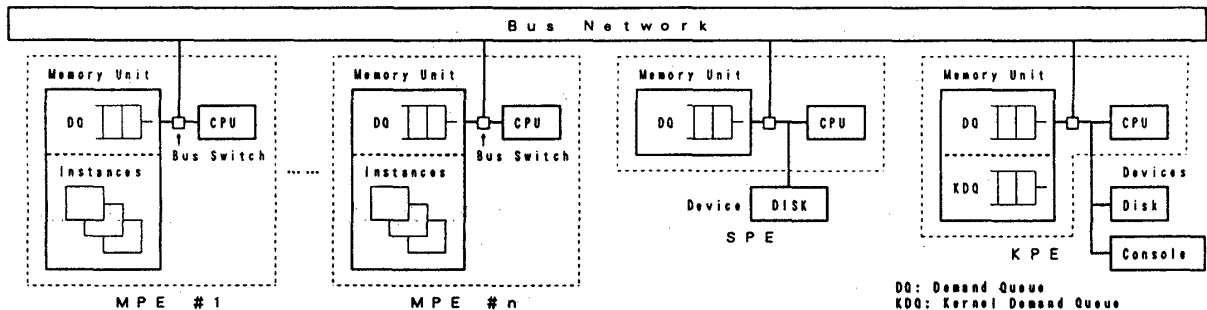


図2 並列計算機の構成

Exceptions and Protections Mechanism for tightly coupled multiprocessor
Hitoshi TAMURA, Masaki TOMISAWA, Satoshi IGARASHI, Oichi ATODA, Nobuo SAITO
Department of Computer Science, Faculty of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

例外のうち『解析例外』ではPEの資源を利用したり、PEに実行状態のデータを与えたりする。一方『凍結例外』では、SモードになったPEが直ちにKPEに対して暗黙的なDEMANDを行う(③)。KPEはこの時SモードからKモードに遷移する(⑤)。MモードとKモードは直接交信できない。しかしMモードからSPEに対しては特定形式のDEMANDを行うことができる(②)。

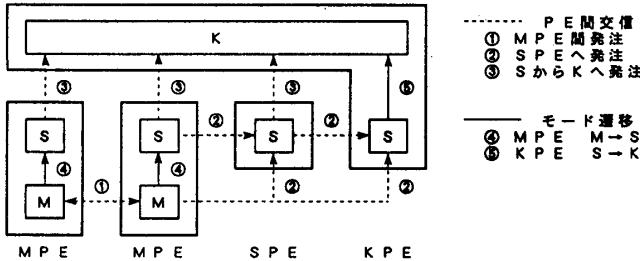


図4 モード間遷移・交信

TRAP 命令は解析例外を起こし、PE資源の要求に用いる。AOF 命令はデバッグでの利用を目的とし、解析、凍結の両方を起こす。すなわち即値オペランドと、PEのホームメモリ上の解析制御ワード、凍結制御ワードそれぞれの論理積が1のものがあれば、それぞれの例外を起こす。

4. 各例外処理の手続き

並列計算機の例外処理は、バスエラーやアドレスエラーのような並列計算機全体の例外として処理するものと、TRAP 命令等のPE単体の例外として処理するものの2つが必要である。前者はKモードで動作しているKPE以外はすべて凍結して処理する凍結例外である。後者は解析例外である。これら2つとリセットに相当する立ち上げ処理を含めて、3つの例外処理がある。

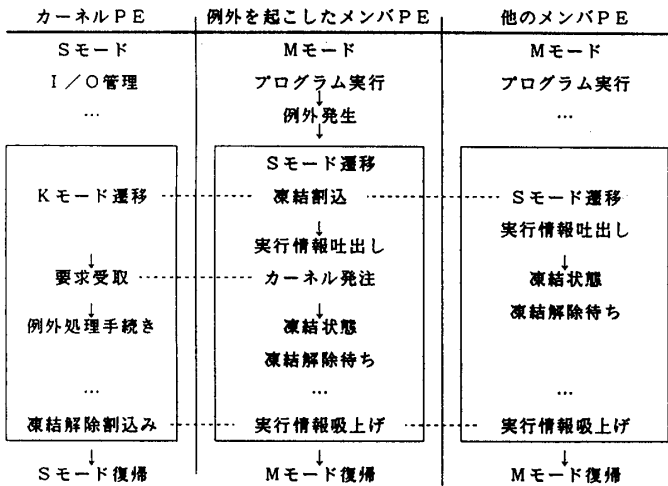


図5 凍結割込み時の状態遷移

①凍結例外処理 致命的な例外がPEのどこかで生じると割込みが生じ、全MPEを凍結する。KPEはKモードになり例外発生PEからの要求を受け、そのPEと発生した例外の要因を知る。

例外発生時のMPEは、カーネルが読めるように共有メモリ上の特定位置に実行情報を吐出し、KPEへDEMANDを行う(図5)。

②解析例外処理 AOF 命令、TRAP 命令によって例外が生じると、該当MPEがSモードに遷移し、利用者指定の処理手続きを実行する。凍結例外とは異なり他PEには影響しない。この解析例外処理手続きではいかなる命令も再び解析要因にはならない。この解析例外は逐次計算機の割込みとほとんど同様の処理を行えばよい。

③立ち上げ処理 KPEが複数のMPE、SPEを管理し、並列制御構造の初期化や、プログラムのロードを行う。その後割込みにより各PEの起動手続きを実行させる。

5. 凍結用回路

MPEおよびSPEと、KPEの間には、メモリバスとは別の凍結用割込みバスが必要である。MPEまたはSPEのどれか1つ以上が凍結例外を起こすと、オープンコネクタバスを通してKPEに伝達され、凍結フリップフロップ群がすべてセットされる。1つ1つの凍結フリップフロップはそれぞれのMPEまたはSPEに専用線を通して割込みを発生し、KPEを除く全PEを凍結状態にする。すなわちどこかのPEで発生した凍結例外は、短時間で全PEに伝達される。一方凍結の解除は、KPEがKモードのプログラムで、個々の凍結フリップフロップを個別に解除することにより行われる。

6. 例外を利用したデバッグ

並列計算機用のデバッグにはAOF 命令、凍結および解析制御ワードを利用する。デバッグをカーネルPEのKモード上におき、デバッグがこれらの機構を用い、特定の並列制御命令ごとやプログラム中任意の場所で凍結および解析例外を引き起す。

例えば並列計算機用のブレークポイントや、並列計算機のスナップショット取得のために凍結例外を引き起す。またPE単体でデバッグする時には解析/凍結制御ワードを使いスタブを作成する。そして並列計算機のデバッグで重要になる並列制御命令のトレースや各PEの履歴取得は、各々の場所で解析例外を引き起して行う。

7. おわりに

発注/受領型並列計算機では特権、ユーザの2モードでは不十分であり、例外処理・保護機構を構築するために3モードが必要であることを述べた。またこの例外処理機構はデバッグに必要な機能も考慮し構築した。これらの機構はハードウェアで実現すべきものである。現在はMC68000上にソフトウェアでエミュレートしている。

【参考文献】

[1] 冨澤ほか：手続きフロー型並列計算機における分散型組込み制御機構，信学論(D)，J71-D，10，pp.1921-1930(1988)。
 [2] 冨澤ほか：手続きフロー型並列計算機の制御機構と並列記述言語，情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会資料，79-15(1989)。