

3S-6 小型化版CHIのデバッグ支援 マイクロプログラムの方式

丸山 裕之⁽¹⁾ 橋田 伸一⁽²⁾ 中崎 良成⁽²⁾

⁽¹⁾ 日本電気技術情報システム開発部 ⁽²⁾ 日本電気C&Cシステム研究所

1. はじめに

第5世代プロジェクトの一端として開発中の逐次型推論マシン(小型化版CHI)は、拡張Prologをターゲット言語とするバックエンド型の言語プロセッサである。小型化版CHIでは、ハードウェアの基本操作から Warren 命令セット及び高機能な組み込み述語のレベルまで幅広い範囲を機械語命令によりサポートしているが、今後さらに高速化高機能化していくために命令セットをより充実させ、最適化していくことが重要な課題となっている。そのためには命令セットや組み込み述語の利用状況を始めとする評価データを収集する機能や、アーキテクチャの検証及び基本ソフトウェアのデバッグを支援する機能が不可欠である。小型化版CHIではこれらの機能を多様なハードウェアトラップ機能とマイクロプログラム(以下 μ P)を用いて実行速度の低下を招くことなく実現した。

本稿では、小型化版CHIで実現したデバッグ支援機能と評価データ収集機能を内蔵したアーキテクチャ及びその実現方式について報告する。

2. 基本方針

バックエンド型の言語プロセッサである小型化版CHIは、利用者インターフェイスをホストプロセッサに依存しているため、ホストプロセッサと協調してデバッグ支援機能や評価データ収集機能を実現する。そのため、小型化版CHIでは数多くのホストプロセッサ割り込み機能と各種の実行モードをアーキテクチャのレベルで保有し、基本ソフトウェアにおいてこれらを容易に利用できる環境を提供することを主眼とした。

3. 基本構成と動作

小型化版CHIでは多様なハードウェアトラップ検出機能を備え、トラップ発生時にはトラップ要因に対応した μ Pを機械語命令の境界で起動する。この μ Pはトラップ要因に対応した処理を行なう前に以下に示す各実行モードに対応したマイクロサブルーチンを起動し、ランタイム情報を収集したり、デバッグ機能を強化するための処理を行なう。

- ・トレース実行モード
- ・評価データ収集モード

つまり小型化版CHIでは、図1に示すように命令処理用、トラップ処理用、デバッグ及び情報収集用の3種類の μ P群を交互に実行しながら処理を進める。

(1) 命令処理用 μ P

機械語命令値に存在し、各機械語命令の処理を行ったのち次命令への分岐で終わる μ Pである。通常の Prolog プログラムの実行はこの μ Pにより処理が進められる。

(2) トラップ処理用 μ P

外部割り込みや、メモリ管理トラップ、各種のハンドラ起動トラップ、述語呼び出しトラップ、エラートラップなどのトラップ要因ごとに存在する μ Pで、デバッグ及び情報収集用 μ Pの起動やプロセスの切り換え、ハンドラの起動などトラップ要因に対応した処理を行う。

(3) デバッグ及び情報収集用 μ P

小型化版CHIの各実行モードに対応して存在する μ Pで、ホストプロセッサと協調して、トレースデータや評価データを求め、保存する。

これらの各 μ P群の間での制御の移行はハードウェアに依るか、もしくはモード設定時に静的に決定してしまうため実行速度には大きな影響を与えない。

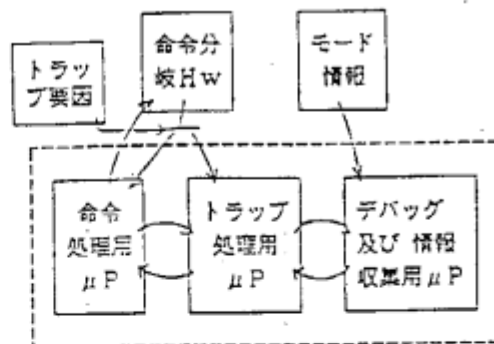


図1 小型化版CHIの μ Pの構成

4. デバッグ支援機能

CHIを始めとする言語プロセッサでは、ターゲット言語の高速実行だけでなく、データ型の動的検査のためのタグアーキテクチャや言語依存のトラップハードウェアを採用することで、より良い開発環境を提供することが重要な課題となっている。さらに、Prolog ではメモリ利用の殆どをシステム側で制御し、

Debug suport Microprogram of a CHI Compact Version
Hiroyuki MARUYAMA⁽¹⁾, Shin-ichi HABATA⁽²⁾, Ryousei NAKAZAKI⁽²⁾

(1) NEC Scientific Information System Development Co. (2) NEC Corporation.

フェイル処理のように実行の状態やデータ型によって各命令が動的に行う処理を決定していくため、プロセッサが完全でない状態で実施せざるを得ない基本ソフトウェアのデバッグは、機械語の検証と明確に分けて考えることが難しい。そこで小型化版CHIでは機械語検証も含めたデバッグ効率を向上させるために、従来からのマシンにある機械語トレース機能や、ブレークポイント設定機能の他に Prolog 言語特有の述語トラップ機能やフェイル処理トラップ機能、さらにデータトラップ機能、ヒストリデータ収集機能を提供している。これによって、基本ソフトウェアのデバッグ及び複雑なスタック操作やユニフィケーション処理の動作確認を容易に実施できる。以下に主なデバッグ支援機能を列挙する。

・データトラップ機能

CHI開発上の経験から、Prologの実行制御、特に複雑なスタックの動作などを確認するためには指定したハードウェア資源の値をトレースする機能が不可欠であると判断し、小型化版CHIではこの機能を μP により実現した。これは、指定したハードウェア資源の値が、更新されたタイミングもしくは予め指定した値に書き換えられたタイミングの命令分岐時にホストプロセッサに割り込みをかけることで実現しているため、利用者はタイムリなデバッグ情報を得ることができる。なお指定できるハードウェア資源としてはメインメモリ、レジスタファイル、状態フラグなどがある。

・述語トラップ機能

述語呼び出し命令(call, execute命令など)とproceed命令もしくはフェイル処理を行った命令の終了時にトラップする機能で、述語の実行順序や述語呼び出し時の引数の追跡を行うことができる。本機能の処理は図2に示すようにこれらの命令の中でセットしたハードウェアフラグを命令分岐ハードウェアが次命令への分岐時にチェックして特定 μP を起動し、それがホストプロセッサに割り込みをかけることで実現している。

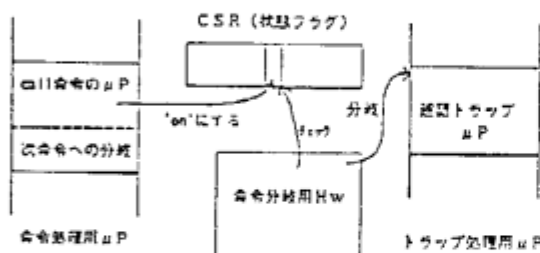


図2 述語トラップ時の動作

・フェイル処理トラップ機能

フェイル処理トラップ機能は、フェイル処理が行われる直前の状態でトラップする機能で、フェイルした時のスタックや引数の状態を確認できる。フェイル処理マイクロプログラム中でホストプロセッサに割り込みをかける。

・メモリ管理トラップ機能

メモリ管理トラップ機能はメモリアクセスにおいてキャッシュミスが発生したタイミング、または新たなページが必要となったタイミングでトラップする機能である。本機能によりプログラム実行に伴うメモリ、特にスタックの利用状況が把握できメモリを浪費する箇所の検出などに利用できる。

・トレースデータ収集機能

トレースデータ収集機能は、機械語実行毎または述語呼び出し毎にプログラムカウンタや予め指定したレジスタまたはメモリの値を保存しながら実行する機能である。本機能により収集した大量のデータを処理することで、プログラム動作を追跡し確認することができる。

5. 評価データ収集機能

小型化版CHIについて、アーキテクチャを評価し、より高速化、高機能化するためには機械語命令及び組み込み述語やその他のソフトウェアルーティンの利用頻度及び実行時間などのデータを定量的に評価する必要がある。しかし、データの収集をソフトウェアにより実施するには膨大なCPUタイムが必要となり、また実行時間などは正確なデータを得にくい。ため、小型化版CHIでは μP により以下に示すデータを収集し、解析する機能を提供した。

- ・各命令の実行回数と実行クロック数
- ・指定番地の機械語命令の実行回数
- ・各組み込み述語の実行回数と実行クロック数
- ・プロセス毎の実行回数と実行クロック数
- ・キャッシュのミスヒット回数
- ・外部割り込み発生回数

これらの収集データをもとに、機械語命令内部の処理を最適化したり(例えばインデクシング命令におけるハッシングの方法など)機械語命令セットそのものを最適化することで(例えば組み込み述語の一命令化など)小型化版CHIをより高速化させることができる。また頻りに利用する述語を高速化し、組み込み述語として登録することも考えられる。

6. おわりに

小型化版CHI上に実現したデバッグ支援機能とホストプロセッサ上の開発支援ソフトウェアを利用することで、高度なデバッグ支援環境を提供することができた。今後はこの環境で実機デバッグを進めると共に、本格的なプログラムを実行して得られるトレースデータ及び評価データをもとにアーキテクチャの評価などを行っていく予定である。

【参考文献】

- [1] 小長谷地：逐次型推論マシンCHI小型化版のアーキテクチャ 情報処理学会第33回全国大会5b-7
- [2] 山岸 他：小型化版CHIのマイクロプログラムデバッグ環境 情報処理学会第34回全国大会3S-5