

R3900 プロセッサ応用ソフトウェアの開発環境

Software Development Environment for R3900 Processor

尾谷 昌康
M. Odani

白木 英司
E. Shiraki

R3900 プロセッサ(以下、R3900 と略記)は当社で開発した高性能 32 ビットマイクロプロセッサで、特に小型携帯端末やゲーム機などの組込み制御分野をターゲットとした RISC(縮小命令セットコンピュータ)チップである。現在、R3900 用のソフトウェア開発環境を整備しており、サードパーティ製品による基本的な開発環境が整いラインアップがそろった。一般的なクロス開発環境に比べて、R3900 の特長を引き出すように改良されたコンパイラと、プロセッサプローブと呼ばれるリアルタイムデバッグシステムなどのツールが使用できるのが特長になっている。ツールをグラフィカルユーザインターフェース(GUI)ベースの統合開発環境のなかで使用することにより、ホスト計算機にかかわりなく、同一のユーザインターフェースを使用した開発が行える。

The R3900 processor is a high-performance 32-bit microprocessor developed by Toshiba. It is a reduced instruction set computer (RISC) processor which is well suited to embedded control applications in products such as personal digital assistants (PDAs) and game equipment.

Currently, we have the basic set of software development tools for the R3900, which have been supplied by third-party companies. Conspicuous among these tools are a compiler that has been improved so as to bring out the salient features of the R3900, and a real-time debugging system called the "processor probe." These tools are available with a graphical user interface (GUI)-based integrated development environment.

1 まえがき

R3900 は、米国 MIPS Technologies Inc. (MTI) が開発した RISC マイクロプロセッサである R3000A^(注1)をベースに当社で開発した高性能・低消費電力 32 ビットマイクロプロセッサである。主に、周辺回路を付加した ASSP(特定用途向け標準品)および ASIC(用途特定 IC)として、小型携帯端末やゲーム機などの組込み制御分野での応用をターゲットとしたプロセッサである。

図 1 に、R3900 の応用ソフトウェア開発環境を示す。この開発環境は、「R3900 の特長を生かしたコード効率の良いコンパイラ」と「リアルタイムデバッグ用ハードウェア」を統合開発環境下で使用できるようにし、多くのホスト計算機やRTOS(Real Time Operating System)に対応できるようにしたものである。これまでに、サードパーティ製品による基本的なラインアップがそろっている。

以下にこれらの開発環境について述べる。

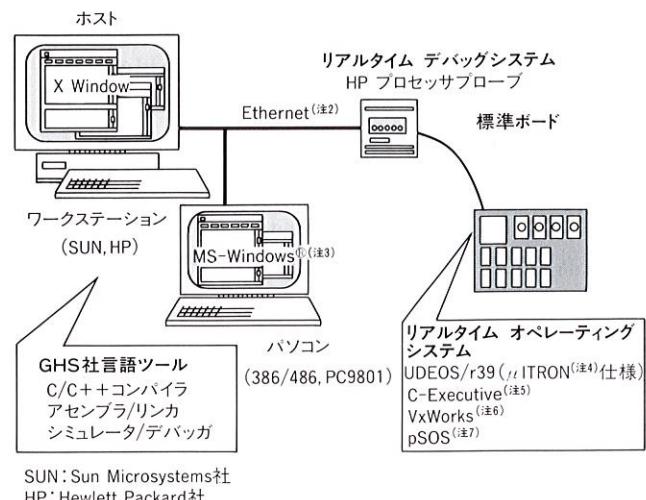


図 1. R3900 応用ソフトウェア開発環境 専用言語ツール、デバッグシステムをパソコン/ワークステーション上の統合開発環境で使用する。

R3900 software development environment

- (注 1) R3000A は、MIPS Technologies 社の商標。
- (注 2) Ethernet は、富士ゼロックス(株)の商標。
- (注 3) Windows は、Microsoft 社の商標。
- (注 4) TRON は、The Real-time Operating System Nucleus の略称。ITRON は、Industrial TRON の略称。
- (注 5) C-Executive は、JMI Software 社の商標。
- (注 6) VxWorks は、Wind River Systems 社の商標。
- (注 7) pSOS は、Integrated System 社の商標。

2 R3900 の特長

ソフトウェア開発環境について述べる前に R3900 の特長について簡単に述べる。R3900 は R3000A から何点か変更されているが、ソフトウェアの観点からみると次の部分で改良・特化されている。

- (1) 乗算演算などのパイプライン性能の強化
- (2) 命令の追加 (積和演算・Branch-Likely)
- (3) メモリ管理機能のうち変換索引バッファ (TLB: 4 K バイト単位のメモリページング機能) を削除
- (4) コプロセッサ関連命令の一部削除
- (5) キャッシュ (命令 4 K バイト / データ 1 K バイト) を内蔵
- (6) NMI (Non Maskable Interrupt) 信号の追加
- (7) デバッグ機能 (専用命令・専用例外) の強化

(1), (2)は純粋な機能性能の強化である。これらの改良により実行速度を上げ、コードサイズを小さくすることができます。

(3)および(4)は組込み用途への特化のために削除された機能である。組込み制御システムでは、多くの場合ハードディスクなどの二次記憶を使用しないため、仮想記憶は必要なく、したがって高度なメモリ管理機能も必要としない。R3900 では、オペレーティングシステムとユーザプログラムの区別のためのメモリ管理機能だけが残されている。また、R3900 には現在のところ浮動小数点演算などをサポートするコプロセッサがないため、コプロセッサ関連命令の一部が削除されている。

(5)も性能向上のための改良である。

(6), (7)はソフトウェアのデバッグのために強化された機能である。NMI は一般的なものではあるが、R3000A には取り入れられていなかった。また、デバッグ専用のブレーク命令やデバッグ専用の例外を設けることで、ユーザプログラムと独立したデバッグ機能の実現を可能とした。

プロセッサコアのデバッグ機能強化とともに、プロセッサ内部に DSU (Debug Support Unit)⁽¹⁾を追加することで、さらに高度なデバッグが可能となる。DSU は、従来 ICE (In Circuit Emulator) で行っていたことのうち、必要性の高い機能を提供するためにプロセッサ内に追加されたモジュールである。これについては後述する。

3 Green Hills Software 社製 C コンパイラ

コンパイラは米国 Green Hills Software (GHS) 社から提供されている。2 章(1)および(2)のように、R3900 はコード効率を考慮した改善がなされており、それを十分に活用できるようにコンパイラが作成されている。基本的に前述したプロセッサの性能を引き出すよう考慮されている。以下に典型的な具体例を示す。

```
int a, b ;
:
b = a * 57 ;
```

このような C のステートメントに対して、通常の MIPS (R3000A) 対応コンパイラは次のようなコードを出力する。

```
sll $25, $8, 3
subu $8, $8, $25
sll $25, $25, 3
addu $9, $25, $8
```

すなわち、乗算命令をシフト演算と加減算に置き換えている。これは、R3000A の乗算が 10 クロック以上もかかるため、上記のようにするほうが実行速度が速く有効なためである。しかし、R3900 では乗算は見かけ上 1 クロックで実行されるので、

```
addiu $3, $0, 57
mult $9, $8, $3
```

というコードが output される。このように、R3900 用 C コンパイラでは R3900 の特長を生かすような改良が施されており、R3000A に比べてコード効率が 15~20 % 改善される。

4 ハードウェア リアルタイム デバッグシステム

クロス開発では従来 ICE が広く用いられてきたが、R3900 の場合は既存形式の ICE を使用することに次のような問題が生ずる。

- (1) 動作周波数の限界 プロセッサの動作周波数の高速化により、ICE 本体とプリント基板を結ぶプローブなどで生ずる信号遅延が無視できなくなってきた。実際に ICE の動作周波数の限界は 25~30 MHz 程度である (R3900 の動作周波数は 50 MHz である)。
- (2) リアルタイムトレースが困難 リアルタイムのプログラムカウンタのトレースを困難にしている原因是二つある。一つは、上述のプロセッサの高速化によるもの (通常、トレース情報はプロセッサと同じ周波数で出力される) である。もう一つは、キャッシュの内蔵による副作用である。プロセッサがキャッシュを内蔵している場合は、プロセッサの外部にすべてのバスアクセス (この場合、命令読み込みのためのメモリリードサイクル) が現れてこないため、バスアクセスをモニタしているだけでは意味のあるトレースが採れなくなってしまう。

- (3) プロセッサの形状が複数存在する 冒頭に述べたように、R3900 は ASSP や ASIC のコアとしての利用を前提としているため、客先ごとに固有の周辺回路を付加した形の製品ができてしまう。したがって、形状やピン数はプロセッサごとにバラバラになってしまふ。これら複数の形状のチップのためにそれぞれ ICE のプローブを用意することは事実上不可能である。

これらの問題点を解決するために、R3900 ではプロセッサプローブと呼ばれる “簡易 ICE” 的な装置を用意している (HP 社製)。プロセッサプローブは、R3900 コアとともにオンチップにインプリメントされた DSU を使用した R3900 用

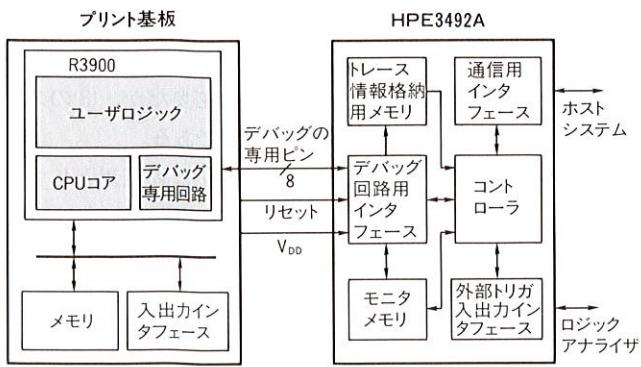


図2. プロセッサプローブ構成 プロセッサプローブ（HPE3492A）とR3900のデバッグ回路は8本の専用ピンで接続される。

Configuration of processor probe

のデバッグツールである。

R3900とプロセッサプローブの間は、図2に示すように少数の専用デバッグピンで接続されており、プロセッサの形状変更による影響がない。また、チップ内部にDSUを組み込んだことにより、実際にR3900が動作する環境でのデバッグが可能になり、従来のように「ICEでは動いたが、実際のプロセッサでは動かない」といった問題が生じることはなくなった。また、キャッシュの内蔵に影響されずに、意味のあるリアルタイムトレース情報を取得することができる。以下で、DSUを搭載したR3900チップでプロセッサプローブを使用した場合の、①Go, Breakといったプログラムの基本的な実行制御、②リアルタイムトレースの方式について特長を述べる。

(1) 実行制御の概要 R3900には“ノーマルモード”と“デバッグモード”的二つのモードがある。R3900プロセッサは、デバッグ割込みが発生するとノーマルモードからデバッグモードへ移行する。R3900では、デバッグ割込みが発生したときの割込み処理ルーチン（この場合はデバッグモニタ）をターゲットシステム上のROMに格納する必要がなく、プロセッサプローブの内部メモリに格納しておくことができる。DSU付きのR3900は、デバッグモード時にデバッグモニタが格納されている領域のメモリにアクセスする際、通常のバスリードライトサイクルを発生させずに、前述の専用デバッグピンを使用したシリアル通信を行う。こうすることで、R3900はプロセッサプローブからデバッグモニタの命令を読み込んで、実行する。

R3900Aにもデバッグのためのブレークポイント命令は定義されているが、割込みベクトルが他の割込みと共に用いられるため、オペレーティングシステムのような、自身で割込みハンドラを記述しているプログラムのデバッグを行う際に煩雑さを伴ってしまう。R3900で新たに

追加されたデバッグブレークポイント命令は、専用の割込みベクトルで処理ができるようにしたものであり、特長的なものである。これはオペレーティングシステムのデバッグなどに特に有効となっている。

(2) プログラムカウンタトレース機能 ユーザプログラム実行中に、プログラムカウンタのリアルタイムトレース信号を出力する機能であるが、基本的にDSUは「毎クロックバイブラインの状態を出力する（アドレス順に実行中、分岐発生、例外発生など）」、「分岐が生じた場合に分岐先アドレスを出力する」などの動作を行う。したがって、プロセッサプローブ側で受信したデータを基に完全なトレースイメージを再現する方式である。

ただし、出力は「専用ピンを用いて、分岐アドレスをシリアル出力する」タイプのため、分岐した連続命令でトレース出力が間に合わなくなる場合もある。このため、トレース出力が完了するまで、プロセッサをストールさせることもできるように考慮されている。

プロセッサプローブはパソコンホスト、ワークステーション（SUN, HP）ホストで使用可能である。プロセッサプローブとホスト計算機の間はEthernetで接続される。

5 統合開発環境

R3900の開発において使用できる主要な統合開発環境としてMULTIがある。MULTIはGreen Hills Software社から提供されている統合開発環境で、各種ホスト、各種ターゲットCPU、各種オペレーティングシステムに対して画一的な開発環境を提供することを目的としたものである。MULTIはソースレベルデバッガを中心とした統合開発環境であり、ビルダ（プログラムのコンパイルリンクの自動化ツール）や、組込みのエディタ、プロファイラ（プログラムの実行時間計測などの動的解析ツール）などを備えている。

MULTIを使用したデバッグ環境の概略を図3に示す。おおまかに言って、ホスト計算機上ではMULTIの本体と、ターゲットとのインタフェースをつかさどる“サーバプログラム”が動作している。多くの場合、ホストとターゲットの間はRS232Cのようなシリアル回線で結ばれており、この場合のサーバプログラムはシリアルインタフェースの機能をもっている。ターゲットとホストのインタフェースが、例えばEthernetのような他のハードウェアに変更された場合には、このサーバプログラムだけを入れ換えることでホスト側は対応できる。したがって、サーバプログラムが通信する相手が直接ターゲットではなく、シミュレータや別のハードウェアであっても、それに対応したサーバプログラムを使用すればよい。R3900の場合、プロセッサプローブ

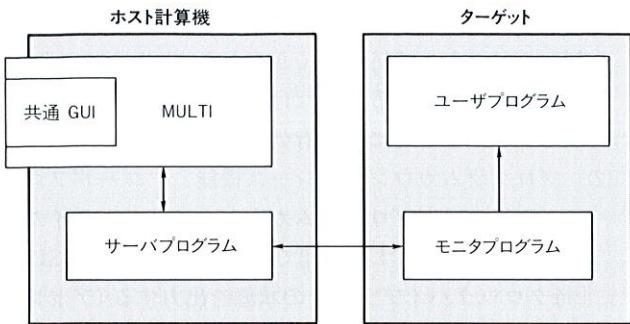


図3. MULTIを使用したデバッグ環境概略 MULTIはサーバプログラムの差替えで多種ハードウェアに対応できる。
Outline of debugging environment using MULTI

もこの方式で MULTIとともに利用可能となっている。デバッグシステムの構成が変わっても、つねに同じ MULTI のユーザインターフェースで使用可能になるのが、MULTI を使用した場合の大きな利点である。現在、R3900 に対応した MULTI は次のホスト計算機上で動作している。

- (1) パソコン (Windows® 95/Windows® 3.1)
- (2) HP (HPUX^(注8))
- (3) SUN (SunOS^(注9) 4.1.x, Solaris^(注10) 2.x)

6 標準ボードと事前評価

組込み制御分野では、ユーザが使用チップを選定するにあたって“チップ性能”や“開発環境の使い勝手”的評価を希望する場合が多い。それらの希望にこたえられるように何種類かの標準ボード、評価ボードが用意されている。

これらのボードの上で前述の開発環境 (MULTI) を実際に動作させることができる。現在は、次の三種類が用意されている。

- (1) VME ボード (株電産)
- (2) EISA ボード (株電産)
- (3) スタンドアロン型ボード (株マイダスラボ)

(注8) HPUX は、Hewlett Packard 社の商標。

(注9), (注10) SunOS, Solaris は、Sun Microsystems 社の商標。

(注11) Nucleus は、Advanced Technology 社の商標。

いずれも ROM、RAM や RS232C などのインターフェースを搭載しており、ボード単体での動作が可能である。(1), (2)の場合は、ラック (マザーボード) は必要だが、(3)のスタンドアロンボードはマザーボード不要である。

もちろん、VME ボード、EISA ボードは評価用としてだけでなく、実際の応用製品としても使用可能である。また、ターゲットのオペレーティングシステムとして次のものが使用できる。

- (1) VxWorks
- (2) pSOS
- (3) UDEOS/r39 (μ ITRON 仕様：東芝情報システム(株))
- (4) C-Executive
- (5) Nucleus^(注11)(計画中)

7 あとがき

R3900 の開発環境の概略について述べた。近年、組込み分野でも RTOS (Real Time Operating System) やアセンブラー以外の言語 (C, C++) を使用した開発が主となっており、ユーザにとってソフトウェアの開発環境はプロセッサ選択の重要なポイントとなっている。今後も、対応の幅を広げ、開発環境を整備していく予定である。

文 献

- (1) リアルタイムトレースを 50 MH の量産用 MPU で実現、日経エレクトロニクス、No.641, 1995.7.31

尾谷 昌康 Masayasu Odani



半導体システム技術センター マイコンシステムソフトウェア技術部グループ長。MIPS プロセッサの応用ソフトウェア開発環境整備に従事。電子情報通信学会、IEEE 会員。Semiconductor System Engineering Center

白木 英司 Eiji Shiraki



半導体システム技術センター マイコンシステムソフトウェア技術部主務。MIPS プロセッサの応用ソフトウェア開発環境整備に従事。

Semiconductor System Engineering Center