

富永 芳章
Y. Tominaga

リアルタイムエミュレータ モデル 25 は UDE (Unified Development Environment) の概念に基づいて開発された高速エミュレータである。このエミュレータは高速 MCU (Micro Control Unit) のエミュレーションを可能とするとともに、エミュレータ機能の強化、プログラムの性能評価用の機構の搭載によってプログラムのデバッグおよび評価環境の高機能化を実現した。

UDE デバッガは UDE テストツールの共通フロントエンドであり、GUI (Graphical User Interface) による操作の容易性と高水準言語を基本としたデバッグ機能をあわせて持っている。

Real-time emulator (RTE) model 25 is a high-speed emulator developed according to the unified development environment (UDE) concept. It realizes a high-level debugging and evaluation environment by its advanced emulation functions and performance measurement subsystem.

The UDE debugger has a graphical user interface (GUI) and debug function for high-level programming language. The UDE debugger is a common user interface for all UDE test tools, and provides consistency of operation.

1 まえがき

マイクロコンピュータ (マイコン) の応用分野、特に組込型の分野において、ユーザが実現する処理の内容が飛躍的に高度化しつつある。処理の高度化に伴い、ユーザが作成するプログラムのコード量の急速な増加、ユーザが使用するマイコンの高位側へのシフトが顕著になっている。

コード量の増加に伴いユーザにおけるプログラム開発環境 (以下、開発環境と略記) に対する機能向上の要求は急激に強まり、現在では使用するマイコンの性能だけでなく、開発環境の性能あるいは機能がユーザにおけるマイコン選定の重要な要素となっている。

当社は 4 ビットから 32 ビットに至る広い性能レンジのマイコンを提供するとともに、コンパイラなどの言語処理系およびリアルタイムエミュレータ (以下、エミュレータと略記) などのデバッグツールを包含したプログラム開発支援ツール (以下、開発ツールと略記) を提供している。これらの開発ツールは対応するマイコンのシリーズごとに開発が行われてきた経緯もあり、高度化するユーザからの要求に対して十分に対応できない面があった。

高度化するユーザからの要求に対応するため、当社では UDE プロジェクトで開発ツールの再整備を行ってきた。プログラム開発工程のなかで、もっとも工数を必要とするデバッグツ

ールについては、従来から提供しているエミュレータだけでなくデバッグモニタおよびソフトウェアシミュレータを含むテストツールとして開発を行っている。

テストツールは、図 1 に示すように複数種のデバッグ機能

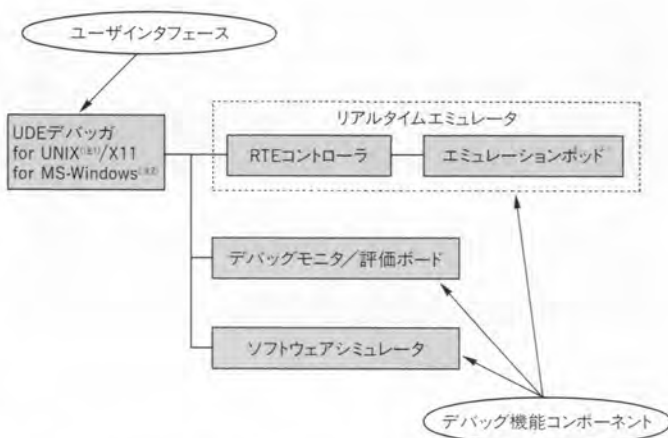


図 1. UDE テストツールの構成 UDE デバッガと 3 種類のデバッグ機能コンポーネントから構成される。

Organization of UDE test tool

(注 1) UNIX は、Open カンパニーリミテッドがライセンスしている米国ならびに他の国における登録商標。
(注 2) Windows は、Microsoft 社の商標。

コンポーネント（エミュレータ、デバッグモニタ、ソフトウェアシミュレータ）をユーザインタフェースである UDE デバッガが制御する構成となっている。

ここで紹介する UDE デバッガおよびリアルタイムエミュレータ モデル 25（以下、RTE/M25 と略記）は UDE テストツールの主要構成要素であり、ユーザからの要求がもっとも高いデバッグツールである。

2 UDE デバッガ

UDE デバッガは UDE テストツールのユーザインタフェースおよびデバッグ機能コンポーネントを制御するプログラムである。UDE デバッガは UDE テストツール全体の共通フロントエンドとして機能し、接続するデバッグ機能コンポーネントの種類にかかわらず、一貫した操作性をユーザに提供している。

図 2 に UDE デバッガの画面例を示す。

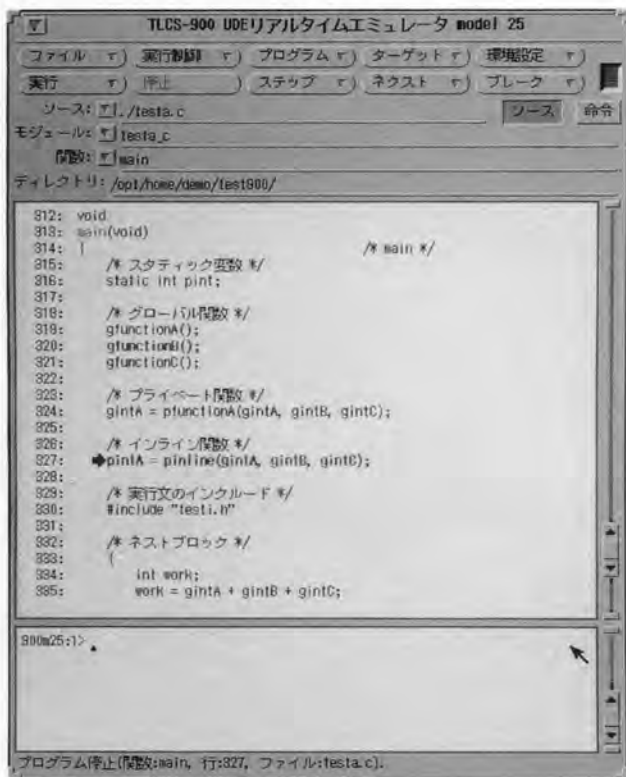


図 2. UDE デバッガの主画面 この画面から大部分の操作および表示を行うことができる。

Main window of UDE debugger

UDE デバッガの主要機能は次のとおりである。

- (1) GUI による操作の簡易化
- (2) スクリプトインタフェースによる作業の自動化
- (3) 高水準言語レベルのデバッグ機能

- (4) 複数種のデバッグ機能コンポーネントをサポート
- (5) LAN を含む複数の通信方式をサポート

2.1 ユーザインタフェース

プログラムのデバッグ時には、ユーザは異なる意味をもつ情報を実作業の各段階で取捨選択しながら作業を行っている。デバッグ作業の手順は作業者の思考法、経験などによって千差万別であるため、UDE デバッガのユーザインタフェースの設計では、ユーザの作業手順の分析を行った。

この分析の結果、UDE デバッガではユーザが着目している対象を主とし、着目対象に対してなんらかの操作を加えるというユーザインタフェースの方式をとった。UDE デバッガでは着目対象を表 1 のように分類し、この分類に従ってプルダウンメニュー、表示ウィンドウなどを設定してある。

表 1 操作対象の分類

Categories of operation objects

ファイル	オブジェクトファイルのロード オブジェクトファイルの生成
実行制御	プログラムの実行と停止 ステップ実行
ユーザプログラム	ソースコードの表示 変数の表示・変更
ターゲットハードウェア	CPU レジスタ内容の表示・変更 メモリ内容の表示・変更
デバッグ機能コンポーネント	システムの初期化 エミュレータ制御関連
UDE デバッガの制御	通信パラメータの指定など

これらの着目対象は対象ごとに用意されたウィンドウ上に表示される。さらに、対象から注意をそらすことなく操作を行うため、ウィンドウ上から直接対象を操作する機構を備えている。この機構はブレークポイントの設定および解除など頻繁に使用される操作を中心に設定されている。

一方、プログラムのテストなど一定の手順を連続的に実行するためにコマンド入力およびファイルに記述されたコマンド列を連続的に実行するインタフェースが用意されている。このインタフェースは通常は二次的なインタフェースとして扱われるが、プログラムのテストなど操作の繰り返しを前提とした作業では必須(す)のものである。UDE デバッガでは主画面の一部としてコマンド入力領域を用意し、ユーザの必要に応じて随時使用できる構成をとっている。

2.2 デバッグ機能コンポーネントの制御

UDE デバッガは各種のデバッグ機能コンポーネントを一元的に扱うため、デバッグ機能コンポーネントが提供する機能を操作するコマンドメッセージを統一した。すべてのデバッグ機能コンポーネントはコマンドメッセージに対して応答する処理を行うため、デバッガは個々のデバッグ機能コンポーネントに合わせた処理を行う必要がなくなった。新規に開発されるデバッグ機能コンポーネントについてもデバッガの修

正を行うことなく接続を行うことができる。

3 RTE/M25

RTE/M25 は、UDE テストツールを構成するデバッグ機能コンポーネントとして新規に開発されたエミュレータである。

RTE/M25 は、次の各項の達成を目標として開発された。

RTE/M25 の外観を図 3 に、基本仕様を表 2 に示す。

- (1) エミュレーション可能周波数の向上
- (2) プログラム品質の評価用機構の追加
- (3) LAN インタフェースの追加



図 3. RTE/M25 の外観 RTE/M25 コントローラとエミュレーションポッド。

Exterior of RTE model 25 controller and emulation POD

3.1 高速エミュレーションの技術

エミュレータの主要機能は、①評価対象 CPU を実際の動作周波数で動作させる、②実行状態を制御する、の 2 点である。この機能を実現するためには次の二つの内部機構を高速化しなければならない。

- (1) 評価対象 CPU のアクセス対象メモリの切換機構
- (2) 評価対象 CPU の実行停止機構

3.1.1 エミュレーションメモリ機構 エミュレータ内にはユーザメモリの代替えを行うエミュレーションメモリが搭載されている。エミュレーションメモリは評価 CPU のメモリ空間上に配置されるため、評価用 CPU はユーザメモリとエミュレーションメモリという異なるハードウェアをアクセスすることになる。エミュレータ内部では評価対象 CPU のバスを

表 2. RTE/M25 の基本仕様

Basic specifications of RTE model 25

対象 MCU	基本仕様	アドレスバス幅	24 ビット
		データバス幅	16 ビット
		メモリアクセスサイクル	50 ns 以上
サポートデバイス		TLCS _{TM} -900, 900/H, 900/L, 9000/16	
エミュレーションメモリマッピング		1 M バイト	
	領域数	16	
	領域サイズ	8 バイト単位、任意の整数倍	
	領域の属性	アクセス対象の指定 アクセス種別の指定	
イベント検出機構	イベント検出器数	8 本	
	イベント検出条件	アドレス 24 ビット データ 16 ビット CPU ステータス 16 ビット 外部信号 16 ビット	
	イベントの接続	直列接続 (シーケンシャル)	
トリガ機構	対象	ブレーク、実行時間計測タイマ トリガ検出信号出力 トレーストリガ、トレースフィルタ	
	イベントの関連づけ	AND または OR 接続で入力	
プログラム実行停止機構		ハードブレーク 4 点 イベント/トリガによるブレーク ソフトブレーク	
トレース機構	トレースメモリ容量	128 ビット×8 K フレーム	
	トレースモード	フリー、リアルタイム、サンプリング	
	トレース開始位置	トリガ点の前、後、中心	
	トレースフィルタ	イベント/トリガによるトレース開始・終了・区間	
実行時間計測機構	累積実行時間タイマ	32 ビット×1 本	
	ラップタイマ	16 ビット×1 本	
	タグタイマ	16 ビット×1 本	
RAM トレース機構		1 バイト×32 点または 2 バイト×16 点	
パフォーマンス測定機構	対象モジュール数	8 モジュール	
	測定項目	全プログラムの実行時間 積算実行時間、最大時間、最小時間、平均時間、 実行回数、実行時間のばらつき	
メモリ使用効率測定機構	測定範囲	16 M バイト空間	
	アクセス種別	命令フェッチ、命令実行、メモリアクセス	
通信インタフェース		シリアルチャネル (RS-232C 準拠) Ethernet ^(注3) 、TCP/IP ^(注4) プロトコル パラレルポート	

切り換えることにより 2 種類のメモリへのアクセスを可能としているが、バス切換えのタイミングは評価対象 CPU の動作周波数が高くなるにつれて厳しくなってくる。RTE/M25 ではバス切換回路を GA (Gate Array) 化して高速化するとともにエミュレーションメモリ用のメモリを高速のものとしてエミュレーションメモリ機構を高速化した。この結果、メモリアクセスサイクルが 50 ns までの CPU のエミュレーションが可能となった。

3.1.2 実行停止機構 RTE/M25 がもつ評価対象 CPU の実行停止機構のうち、イベント検出機構を使用した実行停止機構では評価 CPU のデータバスの確定時から指定条件との比較を開始し、次の命令サイクルが開始される前に実行停止

(注 3) Ethernet は、富士ゼロックス株の商標。

(注 4) TCP/IP は、米国国防総省が開発したプロトコル。

回路を起動する必要がある。RTE/M25では、イベント検出信号の通過ゲートの段数を削減するとともにイベント検出回路の高速化のため、検出回路全体を1個のGAに納めた。

3.1.3 信号線長の短縮 エミュレータの構造上の制約から評価用CPUと上述の回路間の信号線長が往復で約50cmになり、信号伝搬の遅延が問題となっている。信号線長の短縮の手法として、上述の回路を評価CPUと同一チップ上に搭載したエミュレータ用デバイス(以下、エバチップと略記)の使用が有効となる。現在、エミュレーションメモリ制御機構を搭載したエバチップが使用され、エミュレーション速度の向上に寄与しているが、評価CPUの動作周波数向上に追随するためには、イベント検出機構も同一チップ上に集積したより機能の高いエバチップの開発が必要となる。

3.2 プログラム性能評価用機構

RTE/M25はトレースメモリなど、実行状態を観測するハードウェアと独立したプログラム性能に評価機構を搭載している。この機構は、プログラムの実行性能の評価データを取得するためのパフォーマンス測定回路と、プログラムのメモリ使用効率を測定するための機構である。

3.2.1 パフォーマンス測定機構 パフォーマンス測定機構はプログラムを構成するモジュールを指定する回路とモジュールの実行時間を測定するタイマ群から構成されている。RTE/M25は回路を8系統もち、8モジュールまでの測定を同時に行うことができる。

パフォーマンス測定では測定の目的によって測定対象モジュールの指定方法を切り換える必要がある。たとえば、サブルーチンを含む測定対象モジュールの実行時間を測定する場合、測定対象モジュールから呼び出されるサブルーチンの実行時間を含める必要があるRTE/M25のパフォーマンス測定回路では、測定の目的によって対象モジュールの範囲を選択できるようになっている。

3.2.2 メモリ使用効率測定機構 メモリ使用効率測定機構は評価CPUがアクセスした領域を記録し、メモリの使用効率を評価するための機構である。RTE/M25はサポートの対象となっている16Mバイト空間すべてに記録用のビットマップメモリを割り付けている。さらに、メモリアクセスの種別を選択して記録することが可能である。

3.3 高速通信インタフェースの追加

RTE/M25は、従来から標準で搭載されているシリアルチャネル(RS-232C準拠)に加えて、TCP/IPをプロトコルとするEthernetインタフェースを搭載している。Ethernetインタフェースは高速通信路を提供するにとどまらず、大規模化する開発環境を構築するうえでの柔軟性をもたらすというメリットをユーザに提供している。

3.4 トレースデータ取得機能

プログラムの実行軌跡を記録するトレースメモリは8Kフレーム分しかないため、データ取込み条件の設定によっては必要とするデータがほとんど得られない場合が生ずる。RTE/M25ではトレース機構の動作モードを3種類に増やすとともにイベント検出機構をデータ取込み条件として使用することにより、トレースデータの取込み条件を細かく指定することができる。

3.5 メモリ監視機構

従来のエミュレータではユーザプログラムの実行中にメモリの内容を読み出すことができなかった。RTE/M25はデータバスの動作を監視し、指定されたメモリ領域への書き込みが発生した場合、データバス上のデータをラッチする回路をもっている。ラッチされた内容はユーザの指示により随時読み出すことができる。この機構によりユーザは特定メモリの内容の変化を連続的に監視することが可能となっている。

4 あとがき

UDEデバッガとRTE/M25はプログラムデバッグ用ツールとして高度な機能をもち、デバッグ工程の短縮を実現するものであるとともに、新しく登場する高速・高機能CPUのサポートを迅速に行えるシステムとなっている。今後、サポートCPUの品種の追加、リアルタイムOSに対応したデバッグ機能の追加など、デバッグツールとしての機能拡充が予定されている。



富永 芳章 Yoshiaki Tominaga

1981年入社、プログラム開発支援ツールの開発設計に従事。現在、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。
Semiconductor system engineering center