

## MKng プロジェクトにおけるリアルタイム処理: 3 Z-2 Real-Time Mach をベースにしたリアルタイム処理環境†

和田 英彦

徳田 英幸

横河電機 (株) 情報ネットワーク技術開発センター 慶應義塾大学 環境情報学部

### 1 はじめに

慶応大学を中心に行なわれている次世代マイクロカーネル (MKng) 研究プロジェクトでは, Real-Time Mach マイクロカーネル (RT-Mach 3.0)[1] をベースに各種処理のための拡張を行っており [2, 3], その中のいくつかのサブテーマで, リアルタイム処理に関する研究や実証実験を実施している. 本稿では, MKng プロジェクトにおけるリアルタイム処理環境について報告する.

### 2 概要

MKng プロジェクトでは, リアルタイム処理に関連して以下の研究が行なわれている.

- リアルタイム処理機能の拡張
- リアルタイム処理機能の評価
- リアルタイムシステム向け開発環境の整備

リアルタイム処理機能の拡張では, 組み込み型リアルタイムシステムを想定し, マルチメディアシステムや移動ホストへの適用が可能な組み込み型リアルタイムカーネルアーキテクチャを構築できる機能を提供することを目的としている.

リアルタイム処理機能の評価は, リアルタイムシステムではシステムの性能を評価できたり, システムの動作を解析できることが重要であると考えており, 複数のプラットフォーム [4] 独立に, マイクロカーネル自身のリアルタイム機能の性能が評価できる環境を構築することを目的としている. 評価する機能としては, コンテキストスイッチ, 割り込みハンドラの起動時間やリアルタイムプロセス間通信などを考えている. さらにこれらの評価機能を MPTS[5] に組み込むことで, 複数のプラットフォーム上で性能評価を行なうことが容易になる.

リアルタイムシステム向け開発環境の整備は, リアルタイムシステムでは, タイミングに依存するバグが非常に多い. 従ってリアルタイムシステムのソフトウェアを開発する場合には, その性能や動作のタイミングを解析できるツールが必要である. 本プロジェクトではカーネルのイベントを選択的にマスクして, その発生の時系列がモニタリングができ, さらにそのイベントを可視化する

ることによりシステムのデバッグを容易にするツールを使用できる環境を, 本プロジェクトのプラットフォーム上で構築することを目的としている. 以下では, 本プロジェクトにおけるリアルタイムシステム向け開発環境について述べる.

### 3 MKng プロジェクトにおけるリアルタイムシステム向け開発環境

大規模で複雑なソフトウェアシステムを効率的に構築するためには, プログラミングツールが必要であり, 要求解析からデバッグに至るさまざまなフェーズで, ソフトウェアツールが利用されている. しかし, リアルタイムシステム用のプログラムのタイミングのバグを検出してそれを直すようなツールは, まだ数が少ない. リアルタイムシステムのソフトウェアを開発するためには, スケジューラビリティ解析, リアルタイムモニタ, リアルタイムデバッガなどのツールが必要である. これらのツールでは, ターゲットシステムに依存するスケジューリングポリシーをサポートする必要があり, またシステムオーバヘッドも考慮に入れる必要がある.

CMU の ARTS プロジェクトでは, これらのことを解決するために, スケジューラビリティ解析ツールとして Scheduler 1-2-3[6, 7] と, リアルタイムモニタとして Advanced Realttime Monitor (ARM) [6, 8] を開発した. これらのツールは X11 をベースして作成されている.

#### 3.1 Scheduler 1-2-3

Scheduler 1-2-3 は, ターゲットシステムのスケジューラビリティを, デザインフェーズを含めてどの段階でも解析することができるツールである. つまり, 与えられたタスクセットに対して, スケジューリングアルゴリズムを変更しながら, そのスケジューラビリティを解析, 検証できるツールである. また, タスクのタイミングやスケジューリングポリシーに対する要求が変化した時に, タスクセットのパラメータを変更したり, 別のスケジューリングポリシーをツール上のメニューに従って簡単に指定することで, いつでもスケジューラビリティを解析することができる. また, 既存のシステムに対しては, 負荷のジェネレータとなることもでき, 他のタイミングツールやリアルタイムモニタ, たとえば ARM との統合も可能である.

#### 3.2 Advanced Realttime Monitor (ARM)

ARM は, 与えられたタスクセットが, 時間的な制約を満たして動作しているかどうかをモニタリングするため

Real-Time Processing in the MKng Project:  
Real-Time Processing Environments Based on Real-Time Mach  
Hidehiko WADA<sup>1</sup> and Hideyuki TOKUDA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IT Development Center, Yokogawa Electric Corp.  
2-9-32 Naka-cho, Musashino-shi, Tokyo 180, Japan  
E-Mail: <Hidehiko.Wada@yokogawa.co.jp>

<sup>2</sup>Faculty of Environmental Information, Keio University

†この研究は, 情報処理振興事業協会 (IPA) が実施している創造的ソフトウェア育成事業「次世代マイクロカーネル研究プロジェクト」のもとに行われた.

のソフトウェアツールである。ARMでは、モニタをするアクティビティについても、そのオーバーヘッドを考慮に入れている。ARMは、システム的设计者に実行時の動作を実際に見せるとともに、モニタリング/デバッグのオーバーヘッドを予測可能にするものである。さらにARMは、複数のホストのイベントモニタリングやリモートデバッグを行なうことを可能にしている。

ARMの内部構造は次の3つの部分に分けられる。

#### 1. イベントタップ

イベントタップは、カーネルの中にあるプローブであり、興味のあるイベントのraw dataをカーネルから取り出す。現在は、スケジューリングに関するイベントを取り出せるようになっており、その情報をカーネル内のバッファに溜めておくことができる。イベントタップ自身は、イベントのデータをネットワーク経由で送る機能を持たないようにして、モニタリングのオーバーヘッドを予測可能にしている。

#### 2. リポータ

リポータは、イベントタップが収集したイベント情報を、ビジュアライザに送る。ビジュアライザはリモートホスト上で動作していても構わない。現在のRT-Mach上でのインプリメントでは、リポータはユーザ空間で動作する周期タスクである。

#### 3. ビジュアライザ

ビジュアライザは、リポータから送られてきたイベントを解析して表示する。ビジュアライザは移植性を考慮して設計されており、現在はX11上でMotifのライブラリを使って動作する。ビジュアライザはイベント情報を表示するだけでなく、CPU使用率の計算、デッドラインミスの情報などのシステム情報を計算する機能、解析に必要なズームインやプレイバックなどの機能などを持っている。

### 3.3 Scheduler 1-2-3とARMの関係

Scheduler 1-2-3とARMの関係と、ARMの3つの構成要素の関係を図1に示す。

Scheduler 1-2-3は、自ホストで静的な解析結果を表示するClosed Analysisと、スケジューリング情報をイベントとしてとれるSimulateのモードがあり、Simulateのモードでは、そのイベント情報をリモートホストにあるARMのビジュアライザに送信して表示することができる。

ARMは、ターゲットシステムのカーネル空間でイベントタップが動作して、スケジューリング情報をカーネル内のバッファに書き込む。リポータは周期的なタスクとしてユーザ空間で動作し、周期的にイベント情報をバッファから取って、ビジュアライザが動作しているホストにイベント情報を送り、ビジュアライザはその情報を元に各タスクの動作を表示する。

## 4 まとめと課題

本稿では、MKngプロジェクトにおけるリアルタイム処理環境について述べた。前節で述べたツールは本プロジェクトの環境、つまりReal-Time Mach 3.0上で利用

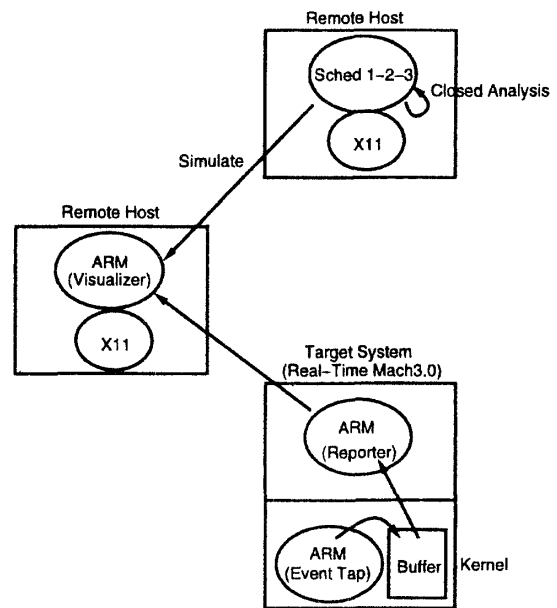


図1: ARMとScheduler 1-2-3の関係

可能となっている。

近年の商用リアルタイムOSの開発環境の進歩は目を見はるものがあり、個々の機能については本稿で述べているような機能を提供しているツールもある。しかし、商用OSの場合はカーネル全体のソースコードも含めた形で提供されていないために、本当にきわどいタイミングでの解析までは行なうことができない。また、本稿で説明した機能は基本的にはプラットフォーム独立に実現されているために、他のプラットフォーム上でも動作する。

## 参考文献

- [1] H. Tokuda et al.: "Real-Time Mach: Towards a Predictable Real-Time System," Proc. of USENIX Mach Workshop, pp.73-82, October(1990).
- [2] 徳田 他: "MKng: 次世代マイクロカーネル研究プロジェクト," 第53回情処全大論文集, 5B-4, pp. 1-39-1-40 (1996).
- [3] 徳田 他: "MKng: 次世代マイクロカーネル研究プロジェクトの概要," 第55回情処全大論文集, 1Z-2 (1997).
- [4] 緒方 他: "MKngプロジェクトにおけるマイクロカーネル移植技法: マルチプラットフォームへの対応," 第55回情処全大論文集, 3Z-18 (1997).
- [5] F.Places et al.: "OSF Microkernel Performance Test Suite," OSF Research Institute, April (1996).
- [6] H.Tokuda et al.: "A Real-Time Tool Set for the ARTS Kernel," Proc. of 9th IEEE RTSS, pp.289-299, December (1988).
- [7] H.Tokuda et al.: "Scheduler 1-2-3: An Interactive Schedulability Analyzer for Real-Time Systems," Proc of COMPSAC'88, pp.211-219, October (1988).
- [8] H.Tokuda et al.: "A Real-Time Monitor for a distributed Real-Time Operating System," Proc. of ACM SIGOPS and SIGPLAN workshop on parallel and distributed debugging, pp.68-77, May (1988).