

仮想計算機上の RT-OS と非 RT-OS に対するタイマ割り込み管理手法

金城 聖[†]永島 力[†]毛利 公一^{†††}[†]立命館大学大学院理工学研究科^{††}立命館大学情報理工学部

1 はじめに

近年、携帯電話や車載システムなどの組込みシステムでは、ハードウェアの高性能化とともに多機能化が進んでおり、リアルタイム性や信頼性に加え、GUI やマルチメディア処理といった情報処理機能が必要になっている。従来の組込みシステムでは、 μ ITRON や VxWorks などに代表されるリアルタイムオペレーティングシステム (以下、RT-OS と記す) が利用され、機器制御を主要処理とした最小限の機能提供によってリアルタイム性と信頼性を保証している。また、高度な情報処理機能を提供するシステムでは、Windows や Linux などの高機能 OS が利用され、これらの OS は、複雑な情報処理を主要処理としており、複雑なシステム構成によって実現されている。すなわち、近年の組込みシステムでは、リアルタイム性、信頼性の保証と高度な情報処理機能という異なる特性をもつ要求を同時に実現する必要がある。

異なる特性を同時に実現する方法として、単一の OS にすべての機能を実装する方法と OS 共存手法を利用する方法がある。前者の方法では、RT-OS を高機能化するか、高機能 OS をリアルタイム化することとなり、その設計・実装は困難であり、開発コストも増加する。後者の方法は、おのおの異なる特性を持つ OS を共存動作させ、システム全体として複数の OS の動作を管理することで異なる要求を満たす。

本論文では、OS 共存手法として仮想化方式を利用したリアルタイム性と高度な情報処理機能を実現するシステムを提案する。また、そのシステムにおけるタイマ管理手法について述べる。以下、本論文では、2 章で仮想化方式の特徴を述べ、3 章でリアルタイム仮想化ソフトウェア基盤について述べる。また 4 章で、提案システムにおけるタイマ管理手法について述べ、おわりにで本論文をまとめる。

2 仮想化方式の特徴

仮想化方式は、OS が動作する環境を仮想計算機 (以下、VM と記す) の構成によって 2 種類に分けられる。

ホスト OS 型 ホスト OS 上のアプリケーションとして VM を構成し、その上で別の OS を動作させる方式

である。ゲスト OS に対して提供している仮想ハードウェアは、エミュレーションによって実現しており、ゲスト OS から実計算機上で動作しているのと同様に認識される。しかし、I/O 処理では、仮想化によるオーバーヘッドが発生する。また、ホスト OS 上で、様々なプロセスやアプリケーションと並行して、ゲスト OS が動作するため、ホスト OS にかかる負荷によって、ゲスト OS のパフォーマンスが低下してしまう問題がある。

ハイパーバイザ型 仮想計算機モニタ (以下、VMM と記す) を利用した方式である。VMM とは、実計算機資源を隠蔽し、ゲスト OS に対して VM を提供するソフトウェアで、ハードウェア上で動作する。ホスト OS 型では、実計算機資源をホスト OS で管理していたのに対して、ハイパーバイザ型では VMM が管理する。この方式は、計算機資源の管理を VMM が行うため、ゲスト OS 同士は独立して動作する。そのため、ゲスト OS 同士の動作によって与える影響は小さい。しかし、計算機が仮想化されているため、I/O 処理にはオーバーヘッドが発生する。

組込みシステムの特性として、信頼性、リアルタイム性、リソース制約を満たすことが求められる。そのため、OS 共存手法を利用したシステムには、安全に計算機資源が利用できること、OS の動作が他の OS の動作に影響を与えないこと、計算機資源の管理が柔軟に行えることが求められる。このことから、本稿で提案するシステムでは、計算機資源を VM という単位で仮想化し、VM 上で動作するゲスト OS の資源利用と動作の干渉を低減することができ、ゲスト OS と異なる階層で実計算機資源の管理が可能であるハイパーバイザ方式を利用する。

3 リアルタイム仮想化ソフトウェア基盤

3.1 概要

リアルタイム仮想化ソフトウェア基盤 (以下、RT-VMM と記す) [1] は、RT-OS と高機能 OS を共存動作を可能とするシステムである。図 1 に示すように、RT-VMM では、RT-OS が動作するドメインを RT ドメインという専用のドメインで管理し、RT ドメインに対してリアルタイム性を保証することに特化した仮想計算機環境を提供する。高機能 OS は、ゲスト OS 用の仮想計算機環境が提供されるゲストドメイン上で動作する。RT-VMM の構成は、RT-ドメインとゲストドメイン、各ドメインの管理を行うインタフェースを提供する特権ド

Management of timer interruption for RT-OS and non RT-OS on Virtual Machine

Akira Kanasiro[†], Chikara Nagashima[†], and Koichi Mouri^{††}

[†]Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

^{††}College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

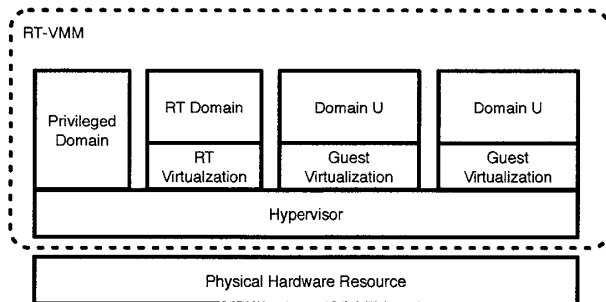


図1 リアルタイム仮想化ソフトウェア基盤の構成

メイン、さらに、ドメインに対して仮想化された計算機資源を提供し、実計算機資源を隠蔽する RT ハイパーバイザから構成される。

3.2 提案システムにおける課題

RT-OS では、タスクの起床や切替えの契機に時間を利用する。この時間は、タイマ割込みによって計測されている。仮想化技術を利用した場合、時間の計測に利用されるタイマ割込みは仮想化され、精度が低下する。RT ドメインを実現するには、タイマ割込みの精度の向上が重要となる。

4 タイマ管理手法

4.1 概要

従来の VMM では、プロセッサに搭載されているローカルタイマからの割込みを受信してから、仮想タイマ割込みを生成する。そのため、VM 上のゲスト OS は、実計算機上のタイマ割込みの周期と比べて、周期に揺らぎが発生する。ゲスト OS として RT-OS を動作させる場合、厳密な時間管理が求められることから、この揺らぎが問題となる。

RT-VMM では、揺らぎ発生の問題に対して、リアルタイム性を保証する RT ドメインとゲストドメインの2種類の異なるドメインを提供することで解決する。RT ドメインでは、厳密な時間管理が重要となるため、タイマ割込みを安定した周期で RT ドメインに通知する必要がある。そこで、RT-VMM では、RT ドメインに対して未使用タイマデバイスからの割込みを通知する。これによって、RT ドメインとゲストドメインが互いの動作に影響を与えることなく、タイマ割込みを利用することが可能となり、タイマ割込みの周期が安定する。

4.2 設計

本システムは、Xen [2] を基に実現する。未使用のタイマには Intel ICH9 [3] 上に搭載されている HPET (High Precision Event Timer) を利用する。HPET は複数のタイマから構成されており、Xen では、タイマの一つをシステム時間の計測に利用している。本システムでは、RT ドメイン用のタイマ割込みデバイスとして HPET の未

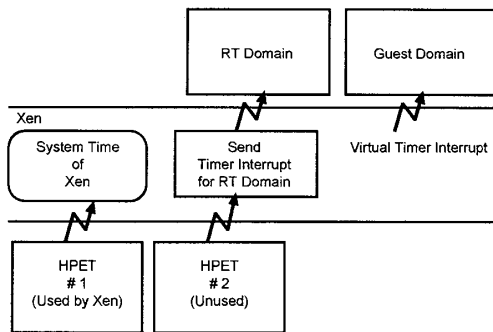


図2 提案手法の構成

使用タイマを利用する。

必要な機構としては、以下のものがある。

- 未使用カウンタ初期化機構
システム時間計測用のタイマと未使用のタイマを利用可能にする。各割込みに対して異なる IRQ を割り当てることで、IRQ の競合を防ぐ。
- RT ドメインへのタイマ割込みの転送機構
未使用タイマ由来の割込みを RT ドメインに転送する。

図2に示すように、未使用の HPET のタイマが発生する割込みを Xen を介して、RT ドメインに通知する。ゲストドメインには、従来の仮想タイマ割込みを通知する。このような構成を取ることによって、RT ドメインに対してタイマ割込み周期の精度は、HPET の精度と同等のものとなり、周期が安定する。

5 おわりに

本論文では、組込みシステムに対する高度の情報処理要求に対して、RT-OS と高機能 OS の動作を実現する仮想化ソフトウェア基盤を提案した。また、そのタイマ割込み管理手法について述べた。複数のタイマ管理方式を併用することで、リアルタイム性と機能性の保証を異なる特性を持った OS で実現することが可能となる。

参考文献

- [1] 金城 聖, 永島 力, 元濱 努, 片山 吉章, 毛利 公一: “リアルタイム仮想化ソフトウェア基盤におけるタイマ割込み通知機構”, 情報処理学会研究報告, 2008-EMB-10, pp. 9-16 (2008年11月)
- [2] Paul Barham, Boris Dragovic, Keir Fraser, Steven Hand, Tim Harris, Alex Ho, Rolf Neugebauer, Ian Pratt, Andrew Warfield: “Xen and the Art of Virtualization,” ACM Symposium on Operating Systems Principles (2003).
- [3] Intel Corp., Intel I/O Controller Hub 9 (ICH9) Family Datasheet, <http://www.intel.com/>