

仮想計算機モニタにおける割り込み処理の性能評価

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

1 はじめに

近年、組込みシステムには、リアルタイム性が求められる処理を行うリアルタイム OS (以下, RT-OS) を搭載したユニットや、高度な情報処理機能を持つ OS を搭載したユニットなど、ユニットが複数搭載され、製品サイズの拡大や、配線の複雑化といった問題が起きている。一つの組込みシステムに複数のユニットが搭載されるようになった背景には、組込みシステムが機器の制御だけではなく、利用者の身近なところまで使用されるようになり、さまざまな付加機能を処理する高度な情報処理機能が求められるようになったことがある。本来、RT-OS は、制御対象である機器の制御を主目的とした機能だけを組込むことにより、処理の予測性を高め、リアルタイム性と信頼性を提供している [1]。そのため、RT-OS に高度な情報処理機能を実装することは、リアルタイム性や信頼性の低下を招く恐れがある。

このような背景より、我々は、RT-OS と高度な情報処理機能を持つ OS を仮想化技術によって一つのユニットで共存動作させ、リアルタイム性や高い信頼性の保証と高機能性の両立を目的としてリアルタイム仮想化ソフトウェア基盤 (以下, RT-VMM) の開発を進めている。開発は既存の仮想計算機モニタ (以下, VMM) を改変することで行っているが、従来の VMM では、ゲスト OS に対して仮想化された計算機資源を提供するため、ゲスト OS に提供される割り込みの遅延や、処理の実行時間にゆらぎが発生する。そのため、既存の VM 上において RT-OS のリアルタイム性を保証することは困難である。そこで、RT-VMM を開発するに先立ち、リアルタイム性を保証するために特にタイマ割り込みについて性能評価を行った。

以下、本稿では、2 章で RT-VMM について述べ、3 章で既存 VMM における課題と、既存の VMM に対して行ったリアルタイム性能の評価について述べ、おわりに今後の研究予定について述べ、本稿をまとめる。

2 リアルタイム仮想化ソフトウェア基盤

RT-VMM は、RT-OS と高機能 OS の共存動作を可能とするソフトウェア基盤である [2]。この RT-VMM は、Xen[3] を基に実現する。RT-VMM では、ゲスト OS は

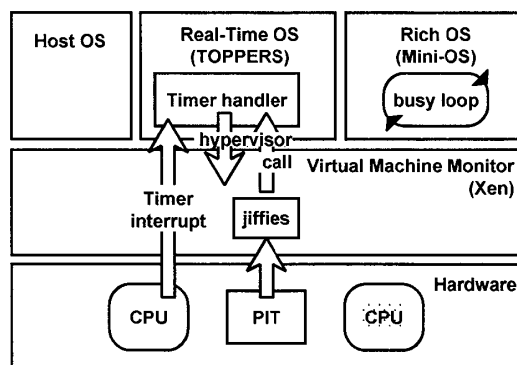


図 1 VMM の構成図

ドメインと呼ばれる VM 上で動作し管理される。図 1 のように、RT-VMM の構成要素は、RT-OS が動作する RT ドメインと、高機能 OS などの RT-OS 以外の OS が動作するドメイン、ドメインを管理する特権ドメイン、それらのドメインに対して計算機資源を仮想化し、提供する RT-VMM からなる。この RT ドメインには、RT-OS がリアルタイム性を保って動作できるように特化された専用のドメインを用意することで、他の高機能 OS との共存動作を実現する。

3 既存 VMM の問題点と性能評価

VMM は、図 1 のように複数のゲスト OS に対して仮想化された計算機資源を提供しているため、ゲスト OS に対して CPU が割り当てられていない状態がある。そういった状態で起こった割り込みを既存の VMM では、ゲスト OS に対して割り込み応答性能と最悪処理時間を保証することが不可能である。そのため、リアルタイム性を保証することが困難である。

以上より、割り込み応答性能を向上するうえで、どのような状況においてこのような問題が発生するのかを調べる目的で VM 上で動作する RT-OS のリアルタイム性の性能評価を行った。具体的には、VM 上で、RT-OS として TOPPERS を動作させたときのリアルタイム性の計測についてタイマ割り込みを用いて、割り込みのリアルタイム性の性能評価を行った。

3.1 性能評価手法

性能評価に利用した評価環境には、RT-OS に TOPPERS(jsp-1.4.2)[4]、VMM として debian3.0 に最小構成の Xen3.2.0[5]、その他の OS として Mini-OS、計測用のタイマとして PIT (Programmable Interval

Evaluation of real-time OS on Virtual Machine Monitor

Chikara Nagashima[†], Akira Kanasiro[†], and Koichi Mouri^{††}[†]Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University.^{††}College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University.

Timer) を用いて計測を行った。なお、計測に使用した Xen には、PIT のカウンタ値 (以下、PIT 値) を取得するハイパバイザコールが追加されている。また、CPU は Core 2 Duo T5600 を用いたが、コアを1つのみ有効とした。具体的な計測方法は、図1で示すように、発生したタイマ割込みに対し、タイマハンドラが開始した時点の PIT 値と、jiffies をハイパバイザコールを用いて取得し、PIT 値と jiffies の間隔からタイマ割込み周期の算出を行った。なお、PIT 値に加えて jiffies を用いたのは PIT 周期を越える遅延を計測するためである。

計測パターンとして、(1) 実環境上で TOPPERS が動作する場合、(2) VM 上で TOPPERS のみが動作する場合、(3) VM 上で TOPPERS とループ処理を実行している Mini OS が動作する場合について、TOPPERS に提供されるタイマ割込み周期の計測を行った。

3.2 考察

今回の計測によって得られた結果を図2、図3に示す。図2、図3はともに、X軸が今回の計測結果から算出されたタイマ割込み周期、Y軸が算出されたタイマ割込み周期の全体に占める割合となっている。

図2より、(1) 実環境上で動作する RT-OS の計測結果と (2) VM 上で RT-OS のみが動作する計測結果に大きな差はなく、タイマ割込みのゆらぎ幅も 0.001 ミリ秒以内に収まった。これにより、CPU が遷移しない状況においては RT-OS は安定したタイマ割込みを受けられ、リアルタイム性に問題はないと考えられる。次に (3) の場合では、図3について Mini OS の動作によって、約 70 ミリ秒程度のタイマ割込み周期に大きなゆらぎが発生した。また、約 10 ミリ秒間隔に分散していることが分かる。これは、TOPPERS が Xen によって CPU が割り当てられていない間にタイマ割込みが発生し、受けていないタイマ割込みがあるためと考えられる。

以上より、高度な情報処理機能を持つ OS が動作している RT-VMM 上で、RT-OS のリアルタイム性を保つためには図3でみられたような割込み周期の大きなゆらぎを抑制することが RT-VMM を開発する上で重要であると考えられる。

4 おわりに

本稿では、TOPPERS の仮想計算機上におけるリアルタイム性能評価の計測方法について問題点とその解決方法について述べ、変更した計測手法によって変わった計測結果について比較し、リアルタイム性能評価について述べた。この性能評価から仮想計算機上で動作する RT-OS は、タイマ割込み周期に遅延はあるが、ゆらぎ幅も短く、比較的安定してタイマ割込みを受けられていることが分かった。今後の予定として、ゆらぎの原因について調査し、割込み処理時間の安定化方法について検討していく。

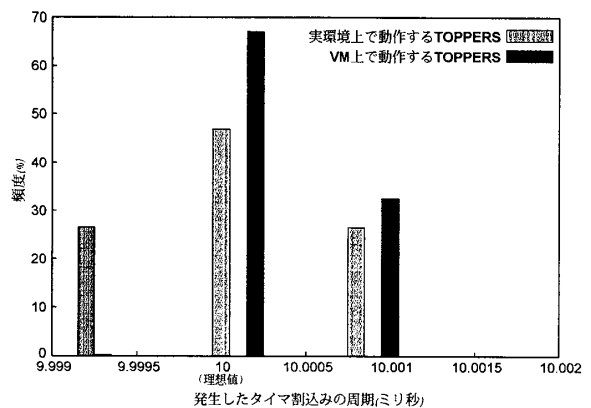


図2 実環境上と VM 上でのタイマ割込み周期

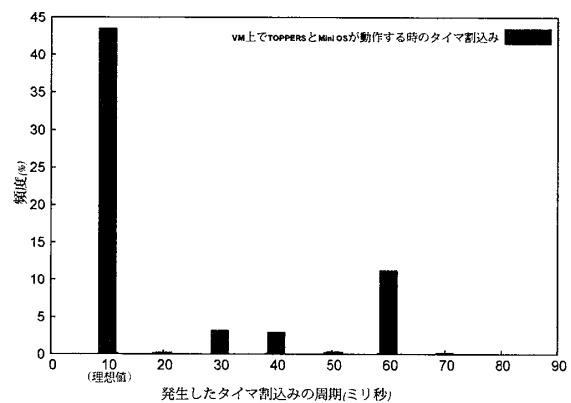


図3 RT-OS と Mini OS (ビジュアルループ) が VM 上で動作している時のタイマ割込み周期

参考文献

- [1] 永井 正武監修, 澤田 勉, 権藤 正樹, 永井 正武 共著: “実用組込み OS 構築技法”, 共立出版, pp. 6-15 (2001).
- [2] 金城 聖, 永島 力, 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り込み通知機構”, Joint Symposium for Advanced System Software 2008, pp. 117-119, (2008).
- [3] P. Barham, B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, T. Harris, A. Ho, R. Neugebauer, I. Pratt, A. Warfield: “Xen and the Art of Virtualization”, ACM Symposium on Operating Systems Principles, pp. 164-177 (2003).
- [4] TOPPERS プロジェクト, TOPPERS/JSP カーネル, <http://www.toppers.jp/>
- [5] 宮本 久二男, 大島孝子, 平 初, 長谷川 猛 著: “Xen 徹底入門”, 翔泳社, pp. 54-70 (2007).