

# 情報爆発時代のローカルノードモニタリングアーキテクチャ

追川 修一 伊藤 愛

筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

## 1 はじめに

情報爆発に対処するため、次世代の IT サービスは、今までよりはるかに高度な信頼性、セキュリティが必要とされている。そのような新しい要求を実現するためには、システムの内部状態やそのシステムが置かれた実世界の状態をリアルタイムモニタリングし、集めた情報から有用な情報を抽出することが必要不可欠となる。システムの現在の状態を様々な面から把握することにより、システムが異常な状態にならないように正しく制御することが可能となる。従来の分散システムと異なり、多様なシステムに関する情報をリアルタイムに観察することにより、システムの振る舞いを動的に現在の状況に応じて適応可能とすることや、システムが異常な状態になるのを未然に防ぐことが可能となる。

このような、情報爆発時代のシステムモニタリングをローカルノードにおいて行うアーキテクチャとして Linux とリアルタイムオペレーティングシステム (RTOS) のハイブリッド環境を構築している。本環境は、オペレーティングシステム (OS) に適した仮想化を行うことで、実装および実行オーバーヘッドを抑えることを可能にしている。

## 2 ローカルノードモニタリングアーキテクチャ

ローカルノードのモニタリングアーキテクチャには、システムの内部状態やそのシステムが置かれた実世界の状態をリアルタイムモニタリングできることが求められる。しかし、単にリアルタイムモニタリングだけでなく、高度な分散環境の構成要素として機能する必要がある。リアルタイム性だけに注目すると、小型軽量な RTOS が有利である。幅広く使用されている RTOS としては  $\mu$ ITRON[4] がある。一方、高度な分散環境の構成

要素とするにはネットワーク機能や各種ミドルウェアが充実した Linux のような汎用 OS が求められる。

そこで本研究では図 1 に示すように汎用 OS として Linux, RTOS として  $\mu$ ITRON を仮想マシンモニタ (VMM) 上に実装するハイブリッド環境を構築する。また、VMM を軽量化し、また VMM 上で OS を動作させるにあたって OS に適した仮想化を行なうことで、実装および実行オーバーヘッドを抑える。

Linux は大きく複雑な OS であり、またバグフィックスや機能拡張のためにバージョンアップが頻繁である。従って、paravirtualization[1] を用いた場合、導入コスト、維持コスト共に非常に大きくなる。そのため、できるだけ単純な改変で VMM 上に汎用 OS を動作させることができる仮想化手法として *mesovirtualization* を提案し、これを実現した VMM として Gandalf を開発した [2]。

一方、 $\mu$ ITRON は Linux と比較するとはるかに小さく単純である。また、通常 RTOS には安定性が最優先されるためバージョンアップは希である。また、小さな組み込み用プロセッサでも動作するようになっているため、プロセッサの複雑な機能を使用しない。従って、paravirtualization を導入したとしても、改変量はわずかで済む。

## 3 実験

1 CPU に対応した Gandalf 上に  $\mu$ ITRON および Linux を実装した環境で実験を行なった結果を示す。実験は、Intel Xeon 2.8GHz CPU を搭載した Dell Precision 470

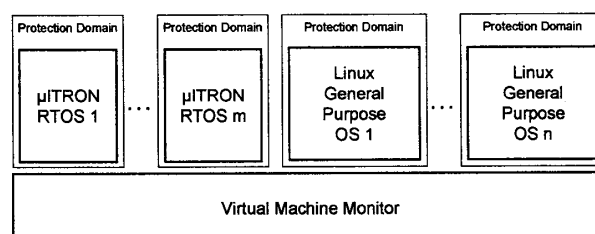
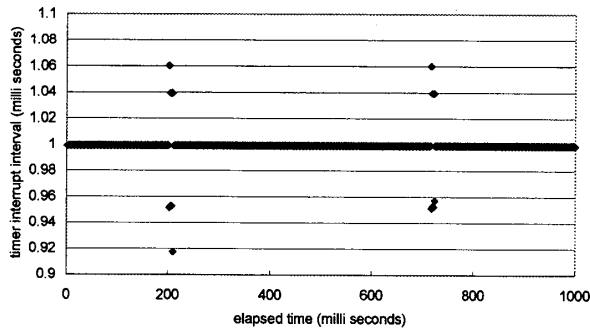
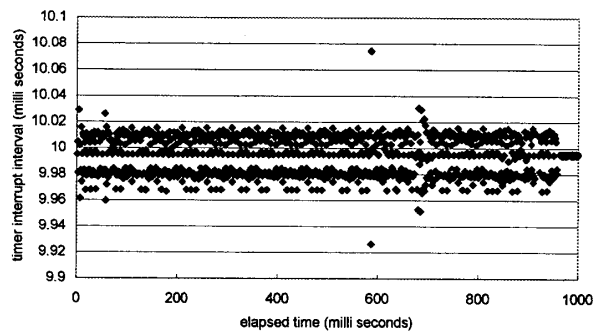


図 1 アーキテクチャ概要



(a)  $\mu$ ITRON on Gandalf



(b)  $\mu$ ITRON on Xen

図2 タイマ割り込みのジッタ

で行なった。1 CPU で実験を行なうため、ハイパースレディングは無効に設定した。 $\mu$ ITRON の実装としては TOPPERS/JSP を使用した。比較のため、Xen 3.0 上にも  $\mu$ ITRON を実装した。

表 1 に基本的な性能を計測した結果を示す。ハイパースレディングと特権命令処理のコストは  $\mu$ ITRON を用いて計測した。この Xen のバージョンは特権命令処理を行わないため計測していない。OS 切り替えコストは、 $\mu$ ITRON から Linux に切り替わり、また  $\mu$ ITRON に切り替わるまでの時間を計測した。計測結果から、単純な操作であるため差が出にくいハイパースレディングの処理も含めて、これら基本的な処理については Gandalf の方が軽量に実現できていることがわかる。

次に、RTOS で重要視される割り込み応答性に対する影響を調べるため、タイマ割り込みのジッタを計測した。タイマ割り込みは、カーネル内の時間管理に使用される。システムの内部状態やそのシステムが置かれた実世界の状態をリアルタイムモニタリングするためには、外部デバイスからの能動的な割り込みだけでなく、カーネル内の時間管理機構を用いたポーリングによるモニタリングも多用されると考えられるため、タイマ割り込み周期の正確さは重要である。図 2 にその結果を示す。タイマ割り込み周期は、Gandalf 上の  $\mu$ ITRON は 1 ミリ秒であるのに対し、Xen 上の  $\mu$ ITRON は 10 ミリ秒となっ

ている。何方所か乱れている部分があるが、基本的には Gandalf での結果の方が安定していることがわかる。

#### 4 まとめと今後の課題

情報爆発時代のシステムモニタリングをローカルノードにおいて行うアーキテクチャとして構築している Linux と RTOS のハイブリッド環境について述べた。

現在、Gandalf は 2 CPU に対応しており [3]、それぞれの CPU 上で  $\mu$ ITRON または Linux を動作させるバージョンを現在実装中である。

#### 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金「特定領域研究」情報爆発 IT 基盤の計画研究「情報爆発に対応する高度にスケーラブルなモニタリングアーキテクチャ」の助成による。

#### 参考文献

- [1] P. Barham, B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, T. Harris, A. Ho, R. Neugebauer, I. Pratt, and A. Warfield. Xen and the Art of Virtualization. In *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Operating System Principles*, pp. 164–177, October 2003.
- [2] M. Ito and S. Oikawa. Mesovirtualization: Lightweight Virtualization Technique for Embedded Systems. In *Proceedings of the 5th IFIP Workshop on Software Technologies for Future Embedded & Ubiquitous Systems*, Springer-Verlag LNCS 4761, pp. 496–505, May 2007.
- [3] 伊藤 愛, 追川 修一. Gandalf VMM におけるシャドウページングの実装と評価. 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, ACS21, 2008. (掲載予定)
- [4] 高田広章.  $\mu$ ITRON4.0 仕様. TRON 協会, 1999.

表 1 基本的な性能の比較

	Gandalf	Xen
Null Hypercall	0.37 $\mu$ sec	0.43 $\mu$ sec
Ignored Privileged Instruction	0.56 $\mu$ sec	N/A
OS Switching Cost (round trip)	1.02 $\mu$ sec	1.80 $\mu$ sec