

リアルタイム Linux における仮想マシンのリアルタイム性能評価

渡邊 和樹[†] 鶴 薫[†]

[†]三菱電機株式会社 情報技術総合研究所

1. はじめに

近年、計算機を集約する手段として仮想化技術が注目されている。仮想化技術により、1 台の物理計算機で複数の仮想計算機(以下、VM)が動作可能となり、省スペース化を達成できる。

我々は、リアルタイム性が必要な産業用システムの筐体数削減を目的とし、Linux ベースの仮想化技術である KVM[1]の適用を検討している。仮想化技術を適用したシステムでは、仮想化のオーバーヘッドによる応答遅延や、複数の VM におけるリソースの共有による性能低下が生じる。ゆえに、リアルタイム性が必要なシステムに仮想化技術を適用する際、これらの現象がシステムの性能に与える影響を考慮する必要がある。

本稿では、KVM を適用した環境におけるホスト OS およびゲスト OS として、リアルタイム Linux である RedHawkLinux[2]を動作させ、リアルタイム性能を評価したので、その結果を報告する。具体的にはタイマやネットワーク割込み時の応答性能の評価と、複数の VM を同時に動作させた際、VM 同士における干渉によって、CPU、メモリ、ネットワーク性能に与える影響を評価した。

2. KVM と RedHawkLinux

KVM は Linux カーネルに実装された仮想マシンモニタである。KVM の特徴として、VM の管理に Linux カーネルの機能を用いることが挙げられる。そのため、VM のリアルタイム性能はホスト OS のリアルタイム性能に影響される。

RedHawkLinux はリアルタイム拡張が施されたディストリビューションである。RedHawkLinux では、カーネルに対して Linux コミュニティによるリアルタイム拡張の他に、独自のリアルタイム拡張が施されている。KVM のホスト OS およびゲスト OS に RedHawkLinux を用いることで、高いリアルタイム性能が期待できる。

3. リアルタイム性能評価

物理計算機と VM の仕様を表 1に、評価環境の構成を図 1に示す。評価は 1~3 つの VM を動作させて行う。各 VM に対して、物理 CPU コア 2 つ専有させ、かつメモリのオーバコミットを行わ

ないことで、VM 同士の影響を抑制する構成とした。また、NIC は集約を検討しているシステムを想定し、物理ポートを 2 つ専有させた上で Active-Standby の冗長構成を構築した。

表 1 物理計算機と VM の仕様

環境	仕様	詳細
物理計算機	CPU	Xeon E5645 6 コア 2CPU
	RAM	合計 10GB
	NIC	合計 6 ポート
	OS	RedHawkLinux 6.3
VM	CPU	仮想 CPU2 個
	RAM	2GB (オーバコミットなし)
	NIC	2 ポート専有、Active-Standby で bonding 構成を構築。

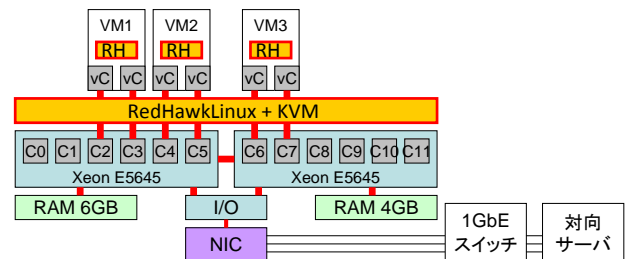


図 1 評価環境の構成

本評価では以下 5 項目について測定を行った。

- ① タイマ応答性能：周期処理に対するリアルタイム性能を評価する。測定には自製プログラムを用いる。タイマで周期処理を実現する方式には周期タイマとワンショットタイマがある。そこで、測定プログラムは周期タイマによるもの(図 2)と、ワンショットタイマによるもの(図 3)を用意した。前者は 10 ミリ秒間隔で SIGALRM シグナルが発生するようにタイマを設定し、ハンドラの起床間隔を測定する。後者はハンドラが起床した際、10 ミリ秒後に SIGALRM シグナルが発生するように設定し、次にハンドラが起床するまでの時間を測定する。測定は VM で stress[3]、対向サーバで netperf[4]を実行し、CPU と I/O に負荷をかけて行う。
- ② ネットワーク応答性能：外部入力に対する応答性能を評価する。測定には自製プログラムを用いる。本プログラムはパケットを送信後、対向サーバからの ACK パケットを受信し、ハンドリングするまでの間隔を測定する。本プログラムを 20 プロセス動作させ、応答時間を測定した。
- ③ CPU 性能独立性：複数 VM で CPU バウンドな

Performance Evaluation of Real-time Linux in virtual machine. Kazuki WATANABE[†], Kaoru TSURU[†]

[†] Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation.

処理を行う際の影響を測定する。測定には CPU ベンチマーク Dhrystone を用いて、stone と呼ばれる処理の実行回数を比較した。

- ④ メモリ性能独立性：複数 VM でメモリアクセスする際の影響を測定する。測定には自製プログラムを用いる。本プログラムは 1GB のメモリを 4KB 間隔で書換える際に要する時間を測定する。
- ⑤ ネットワーク性能独立性：複数 VM で同時にネットワーク I/O を行った際の影響を測定する。測定にはネットワークベンチマークである netperf を用いる。各 VM から対向サーバに対して、TCP_RR 方式のベンチマークを行い、単位時間あたりの通信回数を比較する。

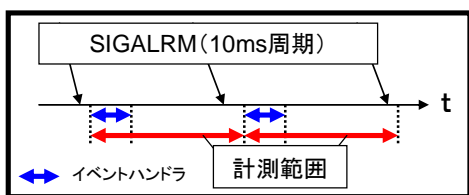


図 2 周期タイマによる測定

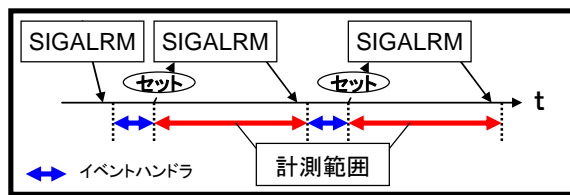


図 3 ワンショットタイマによる測定

4. 評価結果

測定結果を図 4、図 5、表 2 に示す。測定結果より、以下の結果が確認できた。

- ① タイマ応答性能：負荷がない場合、応答遅延は周期タイマで 16μ 秒、ワンショットタイマで 48μ 秒となった。負荷をかけた場合、周期タイマで約 21.8 ミリ秒、ワンショットタイマで約 6.7 ミリ秒となり、遅延が発生した。
- ② ネットワーク応答性能：多く試行で 3 ミリ秒以内の応答となったが、突発的に大きな遅延が生じ、最大応答時間は 15.864 ミリ秒となった。
- ③ CPU 性能独立性：VM1 台の場合と、複数台の場合における性能差は約 0.12% となり、VM 同士の影響はほぼ無い結果となった。
- ④ メモリ性能独立性：VM1 台の場合と複数台の場合における性能差は約 0.57% となり、VM 同士の影響はほぼ無い結果となった。
- ⑤ ネットワーク性能独立性：VM1 台の場合と複数台の場合における性能差は約 9.99% となり、性能のゆらぎが確認された。

5. まとめ

本稿では、KVM 適用環境において、ホスト OS と

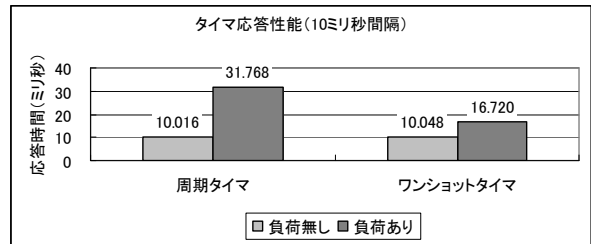


図 4 タイマ応答性能

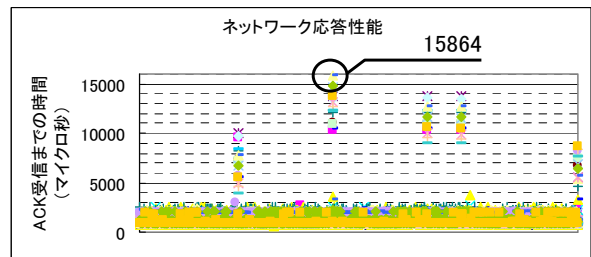


図 5 ネットワーク応答性能

表 2 性能独立性測定結果と VM 数 1 の時との性能比

	VM 数 1 台	VM 数 2 台	VM 数 3 台
CPU 性能 (stone/秒)	11750881 (100%)	11737089 (99.88%)	11737089 (99.88%)
メモリ性能 (秒)	21.331 (100%)	21.211 (99.43%)	21.304 (99.87%)
ネット性能 (trans/秒)	1816.7 (100%)	1707.85 (90.01%)	1794.11 (98.75%)

ゲスト OS に RedHawkLinux を用いた際のリアルタイム性能を検証した。結果、周期タイマとネットワーク割込みにおいてリアルタイム性能を担保できない結果となった。これは仮想割込みを通知する I/O スレッドに競合が生じたためと考えられ、対応策として KVM の vhost 機能や RedHawk の CPU Shield 機能の適用が考えられる。

また、各 VM でリソースを専有するように割り当てて評価した結果、CPU とメモリ性能において VM 同士の影響が抑制されたことを確認した。ネットワーク性能では、相関性は確認されなかったが、VM 数が増加すると性能が変動することを確認した。

今後、KVM の vhost 機能の適用検討を行いリアルタイム性能の改善を目指す。また、より性能面で有利な LXC[5]の適用を視野に入れ、リアルタイム性と集約の両立を目指す予定である。

参考文献

- [1] Kivity, A., et al.: kvm: the Linux virtual machine monitor, OLS'07, pp.225--230 (2007).
- [2] RedHawkLinux: <http://www.ccur.co.jp/realtime/redhawk.html>
- [3] stress: <http://weather.ou.edu/~apw/projects/stress/>
- [4] netperf: <http://www.netperf.org/netperf/>
- [5] LXC: <http://linuxcontainers.org/>