

仮想化環境におけるキャッシュヒット率を考慮した VM メモリ割り当て

日名川 幸矢<sup>†</sup> 竹内 洗祐<sup>‡</sup> 山口 実靖<sup>†</sup>  
 工学院大学 工学院大学院

1. はじめに

近年、情報技術が普及し、データセンター等において多数のサーバ計算機が稼働するようになった。これに伴い、サーバの消費電力の増加、設置スペースの肥大化が問題となっている。この問題に対する解決策の一つとして、仮想化技術を用いて複数のサーバ OS を一台の物理計算機に集約する手法がある[1]。

本研究では、仮想化システムの Xen によって提供される仮想計算機 (VM) で、メモリ割り当て量と I/O 性能の関係性について調査を行い、キャッシュヒット率を考慮したメモリ割り当て量の最適化の手法として xenballooning の改変案を提案する。

2. 仮想計算機へのメモリ割り当て

仮想化技術では、VM を停止させることなくメモリの割り当て量を変更することが可能である。一つの物理計算機にて複数の VM を稼働させ、それぞれの VM の負荷が時間により変化する場合は、静的なメモリ割り当てを行うとメモリを効果的に活用できないことになる。負荷変動に対応するためには、動的に VM メモリ割当量を変更する必要がある。

3. xenballooning

xenballooning は、Xen が持つ機能の一つで、VM に割り当てるメモリ割当量の変更を動的に行う機能である。VM 上でデーモンとして動作し、ゲスト OS 内のプロセスの推定メモリ使用量(Committed\_AS)を監視して、ホスト OS への要求メモリ量を調整する。

xenballooning は、プロセスの推定メモリ使用量のみを考慮し、ページキャッシュとして利用されるメモリを考慮していないため、I/O 性能の最適化には適さないと予想される。

4. 基本性能評価

本章では、基本性能評価として VM の I/O 性能とキャッシュヒット率の関係性について調査する。キャッシュヒット率を測定するために、VM のカーネル内でキャッシュ前後の I/O 量を監視した。具体的には、キャッシュ前の I/O 量としてページキャッシュへのアクセス量を測定し、キャッシュ後の I/O 量として VM の仮想ブロックデバイス(xvdi)における I/O 量を測定して、その比によりキャッシュヒット率を求めた。

VM におけるメモリ割当量と I/O 性能の関係を調査するために、VM 上でランダムアクセスベンチマークを実行し、性能を測定した。ベンチマークでは、VM 内ファイルシステム上に 1MB のファイルを 5000 個(5000MB)作成し、これらのファイルに対してランダムに読み込みアクセスを行った。

読み込みサイズは 1MB(ファイル全体)であり、ファイル選択の乱数としては、一様分布乱数と平均 1/2 の指数分布乱数を用いた。VM のメモリ割当量を 1000MB~7000MB の範囲で変更し、メモリ割当量と I/O 性能の関係を調査した。物理計算機、仮想計算機の仕様は表 1、表 2 の通りである。

測定結果を図 1 に示す。図 1 より、キャッシュヒット率が低い環境では、メモリ割当量を増やしても性能向上が小さく、メモリ割当の効果が小さいことが分かる。一方キャッシュヒット率が高い環境では、メモリ割当による性能向上が大きく、メモリ割当の効果が大きいことが分かる。

VM Memory Allocation Based on Cache Hit Ratio  
 Kouya Hinagawa<sup>†</sup>, Kousuke Takeuchi<sup>‡</sup>, Saneyasu Yamaguchi<sup>†</sup>  
<sup>†</sup>Kogakuin University  
<sup>‡</sup>, Kogakuin University Graduate School

表 1 物理計算機仕様

Host OS	CentOS 6.3 x86_64
Host Kernel	Linux 2.6.32
Xen Version	4.1.2
CPU	AMD Athlon 1640B 2.8[GHz]
CPU Core	4
Memory	8[GB]
HDD	500[GB], 7200[rpm]

表 2 仮想計算機仕様

Guest OS	CentOS 5.4 x86_64
Guest Kernel	Linux 2.6.18
Virtual CPU Core	1
Virtual Memory	測定によって変動

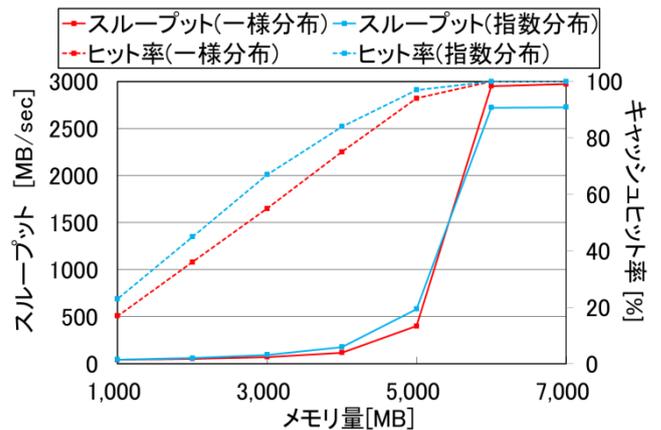


図 1 一様分布実験, 指数分布実験におけるメモリ割り当て量と I/O 性能

5. 提案手法

本章にて、キャッシュヒット率を監視し、それを元に VM にメモリ割り当てを行う手法を提案する。

本手法では、各 VM のキャッシュヒット率の値をホスト OS にて集計し、以下のルールで VM メモリの上限を決める。

1. キャッシュヒット率が  $\alpha$  %以上の VM のメモリ割当量を  $\beta$  %減少させ、これを再配分用メモリとする。
2. 全 VM のメモリ割当量を  $\beta$  %減少させ、これも再配分用メモリとする。
3. 上記 1,2 にて得た再配分用メモリを下記の A または B に従い、VM に再配分する。
  - A. キャッシュヒット率が  $\alpha$  %以上の VM を除く全ての VM に、VM のキャッシュヒット率により比例配分する。これにより、キャッシュヒット率が高い VM ほど多くのメモリが得られることになる。
  - B. キャッシュヒット率が  $\alpha$  %以上の VM を除く全ての VM に、VM のキャッシュミスヒット率により比例配分する。これにより、キャッシュヒット率が低い VM ほど多くのメモリが得られることになる。

また、メモリ量変更のオーバーヘッドを削減するため、上記 1, 2 の段階ではメモリ割当量の変更は実行せず、上記 3 の終了後に変更を行う。また、キャッシュヒット率は 4 章の手法で導出する。

6. 性能評価

提案手法が VM に適切なメモリ割り当てを行えるかを評価するために、評価実験を行った。実験では、Xen を用いて 1 台の物理計算機上に 3 台の VM を起動させ、全 VM 上で同時に 4 章の実験と同様のベンチマークを実行し I/O 性能を測定した。ただし、ベンチマークファイル数は、0 個(0MB)~10000 個(10000MB)の範囲でランダムに動的に変更させ、各 VM の負荷に時間変化を与えた。実験に用いた計算機の仕様は 4 章の実験と同様で、表 1, 2 の通りである。提案手法の閾値は A, B の両手法とも  $\alpha$  を 99%,  $\beta$  を 10%,  $\gamma$  を 10% とし測定した。実験は 10 回行い、その相加平均と相乗平均により評価した。

一様分布乱数を用いる実験の結果を図 2, 3 に示す。図 2 が性能であり、図 3 が VM に与えられた I/O 負荷量とメモリ割当量の時間変化である。同様に指数分布乱数を用いる実験の結果を図 4, 5 に示す。

図 2, 4 より、提案手法の方が既存手法より性能が高く、提案手法が有効であることが分かる。また提案手法 A の性能が B より良かった理由はキャッシュヒット率が高い VM に優先的にメモリを割り当てることで、4 章で示した、効果の大きい割当が多く行えたからだと考えられる。

図 3, 5 より、ベンチマークデータサイズの変化によりメモリ割当量に変化していることが分かる。

一様分布乱数の実験と指数分布乱数の実験を比較すると、指数分布乱数のベンチマークにてより高い効果が得られていることが分かる。これはアクセスの偏りにより、キャッシュがより効果的に機能するためキャッシュヒット率の向上を実現する提案手法の効果がより大きく出たからだと考えられる。

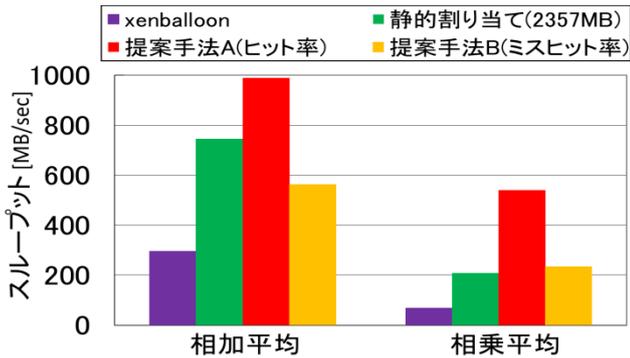


図 2 一様分布実験性能

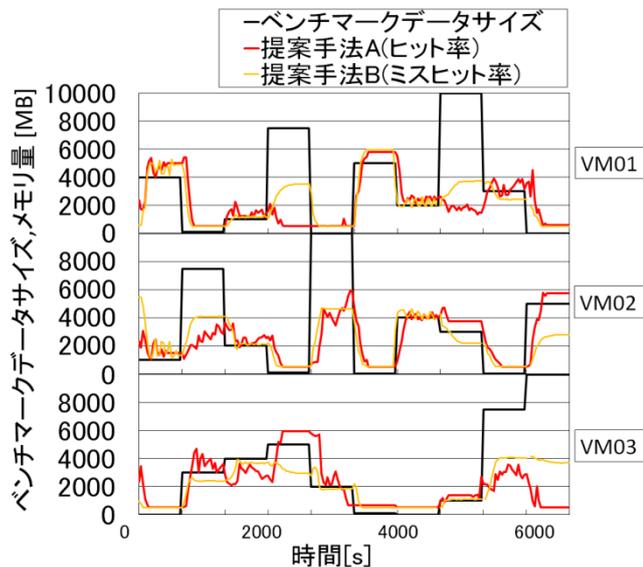


図 3 ベンチマークデータサイズと VM メモリ量の変化 (一様分布実験)

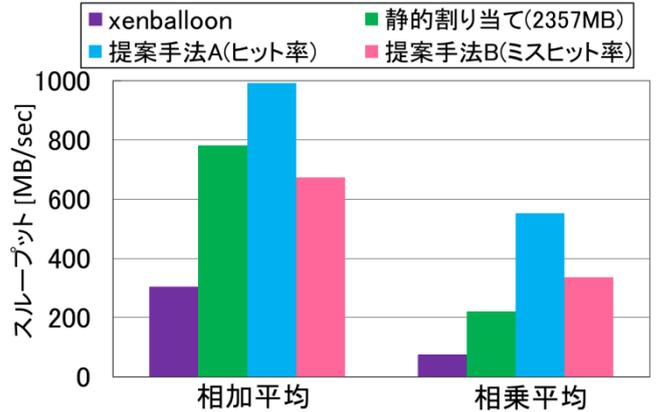


図 4 指数分布実験性能

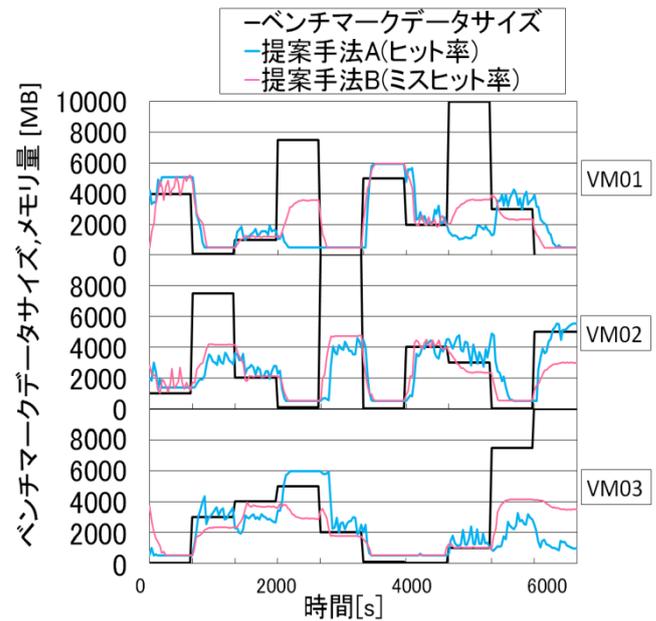


図 5 ベンチマークデータサイズと VM メモリ量の変化 (指数分布実験)

7. おわりに

本稿では、仮想計算機への動的メモリ割り当てに着目し、キャッシュヒット率に基づく手法を提案した。評価実験の結果、提案手法の性能が既存手法より優れていることが分かり、提案手法の有効性が確認された。

今後は、データベースなど応用を用いての評価を行っていく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 22700039, 24300034 の助成を受けたものである。

参考文献

[1] Masaya Yamada, Saneyasu Yamaguchi, "Filesystem Layout Reorganization in Virtualized Environment," The 9th IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing (IEEE ATC 2012), ATC4-2, 2012