

仮想化環境におけるゲスト OS ページキャッシュの監視による ホスト OS ページキャッシュのヒット率の向上

Improved of Host OS PageCache Hit Ratio by Monitoring of

Guest OS PageCache in Virtualized Environment

杉本 洋輝†¹ 光来 健一†² 山口 実靖†¹

Hiriki Sugimoto Kenichi Kourai Saneyasu Yamaguchi

1. はじめに

近年、クラウドコンピューティングの普及に伴い仮想化環境の重要性が高まっている。仮想化環境下において、ホスト OS ページキャッシュ(下位キャッシュ)へのアクセスはゲスト OS ページキャッシュ(上位キャッシュ)を介して行われる。このような二重キャッシュ環境下において上位キャッシュの置換アルゴリズムに LRU (Least Recently Used) が使用されている場合、下位キャッシュにおいては一度アクセスされたデータが近い将来に再度アクセスされる可能性が低くなり、通常とは逆向きの負の参照の時間的局所性[1]が存在することが仮想化システム Xen[2]を用いた実環境での検証[3]や仮想化システム KVM を用いた検証[4]で確認されている。また、二重キャッシュ環境ではゲスト OS ページキャッシュとホスト OS ページキャッシュに同一のデータを重複して格納している可能性が高いことが確認されている[3][4]。

この様に、ホスト OS ページキャッシュ(以下ホスト OS キャッシュ)は負の参照の時間的局所性やゲスト OS ページキャッシュ(以下ゲスト OS キャッシュ)とのデータの重複により効果的に機能しないことが多い。よって、ホスト OS キャッシュには負の参照の時間的局所性とデータの重複を考慮したキャッシュ管理手法が必要である。また、近年普及が進んでいるクラウドコンピューティング環境では、契約に基づき物理マシン上に仮想マシンを稼働させ契約者に提供する。このような例では、資源提供者側が自由に仮想マシンの資源を増減させることができず、仮想マシンの数が少なく資源に余裕のある物理マシンではメモリ資源をホスト OS が管理した状態のまま性能向上を図ることが重要となる。

本稿では、二重のキャッシュで構成される仮想化環境に適したキャッシュ置換手法[4]に着目し、Linux を用いたその実現方法について考察する。そして、その試作実装を用いた評価を行い、本手法の実環境における性能について考察を行う。

2. 上位キャッシュゲスト OS ページキャッシュの監視によるホスト OS ページキャッシュのヒット率の向上

本章で、上位キャッシュゲスト OS ページキャッシュの監視によるホスト OS ページキャッシュ管理手法を提案する。

仮想化環境のような二重キャッシュ環境では負の参照の時間的局所性と両キャッシュのデータの重複によりホスト OS キャッシュは効果的に機能しない。

文献[4]や文献[5]で両キャッシュにおいてデータが重複しないようなキャッシュ管理手法について議論されており、文献[5]では Xen を用いた試作による評価が行われている。

本稿では、KVM を用いた試作実装を紹介し、その有効性を示す。図1に試作実装のモデル図を示す。

試作実装では、カーネルのソースコードを改変し、mm/filemap.c 内の `__remove_from_page_cache()` 関数によって破棄されるページを監視した。破棄されたページはカーネル空間メモリにコピーされ /proc/ インターフェイスを通してゲスト OS のユーザ空間から取り出される。ゲスト OS から該当ページをホスト OS のユーザ空間に転送し、ホスト OS では VM イメージファイルの該当箇所に書き込みを行うことにより、ホスト OS キャッシュにゲスト OS から破棄されたページを格納する。この手法により両キャッシュのデータの重複が抑えられ、ホスト OS キャッシュヒット率の向上が期待できる。

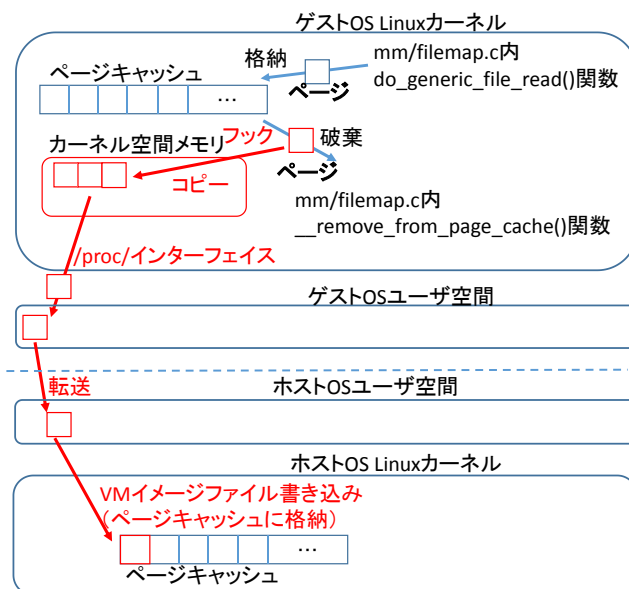


図1 試作実装のモデル図

†¹工学院大学大学院 工学研究科 電気・電子工学専攻
Electrical Engineering and Electronics, Kogakuin University
Graduate School

†²九州工業大学
Kyushu Institute of Technology

3. 評価実験

本章において、提案手法の評価実験を行う。ゲスト OS 上に 20GB のファイルを作成し当該ファイルの先頭から 16GB 目までに対してランダムリードを行うベンチマークプログラムを実行し、提案手法の適用した場合と提案手法を適用しない場合でホスト OS ページキャッシュのヒット率を比較した。ランダムアクセスは一様分布乱数と指数分布乱数で行った。表 1,2,3 に実験環境を、図 3,4 に実験結果を示す。

表 1 実計算機の仕様

OS	CentOS 6.3 (64bit)
Kernel	Linux 2.6.32.27
CPU	Intel Celeron(R) CPU G530
HDD	250GB
Memory	16GB
仮想化システム	KVM
ファイルシステム	ext2

表 2 仮想計算機の仕様

OS	CentOS 6.3 (64bit)
Kernel	Linux 2.6.32.27
CPU	Intel Celeron(R) CPU G530
HDD	50GB
Memory	8GB, 10GB
使用ファイルシステム	ext2

表 3 ベンチマークプログラムの仕様

データサイズ	16GB
総読み込み量	64GB
Read size	16MB
アクセスアドレスの偏り	一様分布, 指数分布

図 2 の読み込みの偏りが指数分布の場合を見ると、ゲスト OS に割り当てたキャッシュサイズがいずれの場合でも提案手法のホスト OS キャッシュヒット率が同等以上であることが確認できる。

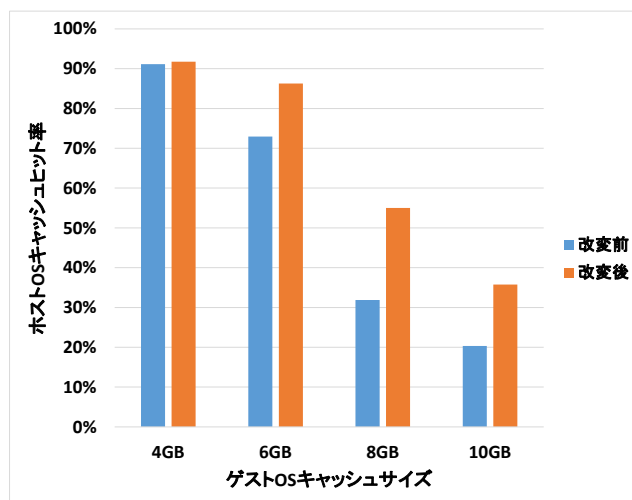


図 2 アクセスアドレスの偏りが指数分布時のホスト OS キャッシュヒット率

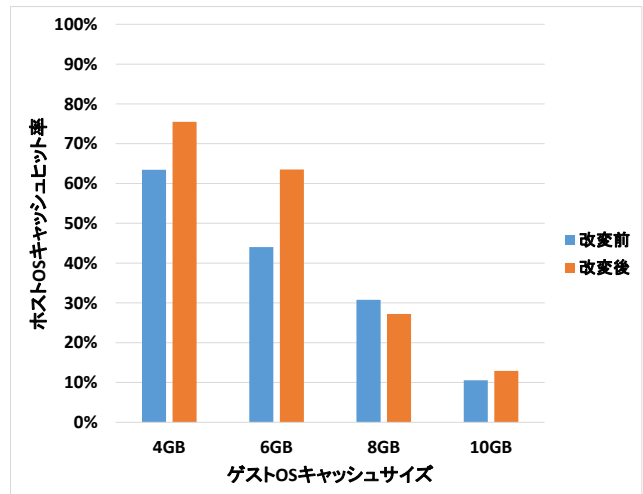


図 3 アクセスアドレスの偏りが一様分布時のホスト OS キャッシュヒット率

図 3 の読み込みの偏りが一様分布の場合も提案手法のホスト OS キャッシュヒット率が改善前に比べて同程度以上に向上していることが確認できる。

提案手法を適用した結果ホスト OS キャッシュヒット率が向上した理由としては、上位キャッシュで破棄されたデータをホスト OS キャッシュに格納することにより、両キャッシュのデータの重複を削減することができたためと考えられる。

4. まとめ

本稿では、上位キャッシュの破棄データを下位キャッシュに格納する手法を試作的に実装し評価を行った。評価の結果、提案手法はホスト OS ページキャッシュのヒット率を向上できることが確認された。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25280022, 26730040, 15H02696 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1]. 宮野新平, 山口実靖, 浅谷耕一, “多段キャッシュ型ネットワークストレージへのアクセスの時間的局所性を考慮したメモリキャッシュ制御”, 情報処理学会研究報告. マルチメディア通信と分散処理研究会報告 2009, No. 20, (2009-DPS-138), pp.7-12, (Feb. 2009).
- [2]. Xen Project: The Xen Project, the powerful open source industry standard for virtualization, available from < <http://www.xenproject.org/> > (accessed 2015-03-08).
- [3]. 竹内洗祐, 山口実靖, “複数サーバ接続ネットワークストレージ環境での参照の局所性の解析 “第 24 回 コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys 2012)
- [4]. 杉本洋輝, 山口実靖, “二重キャッシュ環境における負の参照の時間的局所性を考慮したキャッシュ管理手法”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, pp. 867-872, (Jul 2014).
- [5]. Pin Lu ,Kai Shen, “Virtual Machine Memory Access Tracing With Hypervisor Exclusive Cache “, Proceedings of the 2007 USENIX Annual Technical Conference(ATC'07), pp1-15, (Jun 2007).