

ライブマイグレーション中の仮想計算機上の プロセスの性能に関する考察

久野陽介[†] 新居健一[†] 山口実靖[†]

クラウドコンピューティングや, 仮想化技術を用いたサーバ統合の普及により, VM のマイグレーションが広く行われるようになった. ライブ型マイグレーションは VM 上のプロセスを停止することなく VM を移動させることができるため特に注目されているが, ライブ型マイグレーション実行中は移動中 VM 上のプロセスの性能や, 移動元ホストにて稼働中の VM 上のプロセスの性能, 移動先ホストにて稼働中の VM 上のプロセスの性能などが大きく低下してしまうことが予想され, 詳細な調査が重要であると考えられる.

本稿では, ライブマイグレーション実行中の VM の性能に注目し, その性能に関する考察を行った. 調査の結果, 移動中 VM 上における CPU 演算性能の劣化は小さいが I/O 処理の性能劣化は大きいこと, ネットワーク速度が低い場合は性能劣化が小さいこと, 移動元ホストにおける性能劣化が移動先ホストにおける性能劣化よりも大きいことが確認された.

A Performance Study on in Live-Migration Virtual Machines

KUNO YOSUKE[†] KENICHI NII[†]
SANEYASU YAMAGUCHI[†]

In cloud computing systems, virtual machines and their migrations are widely used. In case of live-migrations, processes in a migrating virtual machine can keep running during migration. However, their performance may severely decrease. We present detailed performance analyses of processes in live-migrating virtual machines. Our analyses demonstrated that performance of CPU intensive applications do not decline significantly while that of I/O intensive applications drops extremely.

1. はじめに

現在, 計算機センタやデータセンタの資源運用の効率性を高めるために, クラウドコンピューティングや, 仮想技術を用いたサーバ統合の普及により, VM(仮想計算機)

のマイグレーションが広く行われるようになった. 仮想計算機技術によって計算機資源を抽象化して論理的に分割・共有できる. さらにマイグレーション機能によって, VM を異なる物理ノード上に再配置可能となり遠隔拠点にまたがって利用できれば, 計算機センタやデータセンタの運用柔軟性は飛躍的に高められる. また, 今後はプライベートクラウドとパブリッククラウド間の遠隔マイグレーションが行われるようになると思われる.

VM のマイグレーションにはライブ型マイグレーションと非ライブ型マイグレーションがあり, ライブ型マイグレーションを用いると VM 上のプロセスはマイグレーション中でも処理を継続できるが, マイグレーション中は VM の性能が大きく低下してしまう可能性がある. 非ライブ型マイグレーションは VM の停止時間は長い動作中は性能が低下しないという特徴を持つ. 性能向上のためには両者を適切に選択し, ライブ型マイグレーション中の VM の処理速度の向上が重要である.

本稿では代表的な仮想機械システムである Xen を用いてマイグレーションの基本性能測定を行い, また複数台 VM におけるマイグレーション中の VM のプロセス性能の劣化について考察する.

2. VM のマイグレーション

VM のマイグレーションでは, あるホスト上で動作状態にある VM を別のホストに移動させ, 移動先ホストで動作を再開させる. マイグレーションを行える仮想機械システムに Xen[1], VMware[8], KVM[7], OpenVZ[9]等がある.

VM のマイグレーションを実現するためには, VM に提供されるストレージ領域は移動元・移動先ホスト双方からアクセス可能であることが必要である. また VM 内部で実行中のネットワークセグメント接続を維持するためには, 移動元・移動先ホスト双方において同一のネットワークセグメントを VM に提供する必要がある. また, マイグレーションにはライブ型マイグレーションと非ライブ型マイグレーションがある.

非ライブ型マイグレーションはマイグレーション元ホストにて VM の動作を停止させてから VM データのコピーを開始し, コピーが完了した時にマイグレーション先ホストで VM を再開させる. なお非ライブ型マイグレーションはマイグレーション開始から完了まで VM の動作を停止する.

ライブ型マイグレーションでは, VM を停止させずに VM データのコピーを開始する. コピー中も VM は移動元にて動作を続けるため, コピーが完了した時点でマイグレーション元 VM の状態が変わっており, コピー開始後に変化した差分を追加で転送する. そして, コピー元とコピー先のメモリイメージ差異が十分に小さくなった時点で仮想マシンを停止し, 差分をコピー同期する. 同期が完了したらマイグレーション先で VM が動作し始める. この時の VM の停止時間は極めて短い. しかし, ライブ型

[†]工学院大学大学院 電気・電子工学専攻

Kogakuin University Graduate School Electrical Engineering and Electronics

マイグレーションにはマイグレーション時間の増加、マイグレーション中の VM の処理性能の低下、ワークメモリの確保等の欠点も存在する。

3. 関連研究

VM のマイグレーションに関する研究としては以下のものがある。

文献[2]では、VM の遠隔ライブ型マイグレーションを想定しており、マイグレーションを行う際に移動元・移動先拠点間で VM のストレージ領域を共有しなくてはならない。また、遠隔ストレージアクセスになり I/O 性能の低下に対して VM のストレージも透過的に再配置することで VM の実行環境全体の移動を可能としている。

文献[6]では、遠隔マイグレーションを行う際に移動元・移動先双方で同一のネットワークセグメントを提供しなくてはならない問題に対して同一のネットワークセグメントの手法を提案し実装、評価を行っている。

文献[3]では、ポストコピー型ライブマイグレーションの提案や評価を行っている。ポストコピー型移行とは、VM のステータスが移動先ホストにおくられるまで VM のメモリ内容の転送を引き延ばす。この引き延ばしが、最初に VM のメモリ内容を移動先ホストにコピーしてから最後に VM のステータスをコピーする従来のプレコピー型と対照的になっている。ポストコピー型と従来のプレコピー型の比較を行い性能向上を示している。

文献[10]では、あらかじめ VM のディスクイメージを移動元・移動先双方に用意しておき、マイグレーション時にはその変更差分のみを移動元ホストから取得する。あらかじめディスクイメージを用意することでデータ転送量を軽減させることができる。しかし、VM のイメージを各拠点にコピーしておくことはソフトウェアライセンス上制限される場合などがある。

4. マイグレーション中 VM の基本性能評価

移動元・移動先ホストから iSCSI を用いて共有ストレージである iSCSI-Target 上の VM イメージにアクセス出来る環境を構築し、VM にメモリ 1[GB]を割り与えた環境で、ライブ型マイグレーション時の VM 上のプロセスの基本性能測定を行った。実験環境構成は図 1 に示す。このときのネットワーク速度は 1[Gbps], 100[Mbps], 10[Mbps]のそれぞれで測定を行った。実験環境は表 1 の通りである。

まず VM 上のプロセスの基本性能測定として、CPU 演算中にマイグレーションを行った時の処理時間の処理速度の測定をした。CPU 演算は整数の加算を 1 億 2 千万回繰り返すものである。ネットワーク速度 1[Gbps], 100[Mbps], 10[Mbps]の測定結果を図 2, 3, 4 に示す。また VM 上に作成した 10[GB]ファイルに対して 4[GB]の Sequential-Read を行い、アクセス中にマイグレーションを行った時の性能測定をした。ネットワーク

速度 1[Gbps], 100[Mbps], 10[Mbps]の測定結果を図 5, 6, 7 に示す。また、I/O 処理に伴うメモリ内容の変更により発生するライブ型マイグレーション差分転送の影響の評価として、VM のメモリ内容を変更しながらマイグレーションを行った時の性能測定した。ネットワーク速度 1[Gbps], 100[Mbps], 10[Mbps]の測定結果を図 8, 9, 10 に示す。またネットワーク速度 1[Gbps], 100[Mbps], 10[Mbps]の CPU 性能, I/O 性能, VM のメモリ内容変更のマイグレーション時間を図 11 に示す。

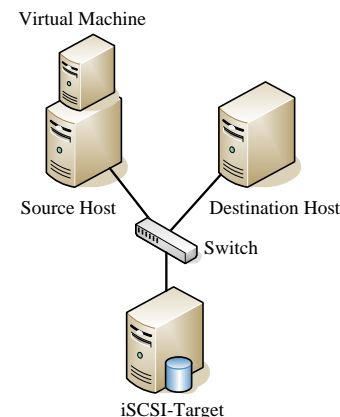


図 1. 実験環境構成

表 1. 実験環境

	OS	CPU	Memory (MB)	HDD (GB)
Source Host	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	4096	160
Destination Host	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	4096	160
iSCSI-Target	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	1024	2048
Virtual Machine	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	1024	50

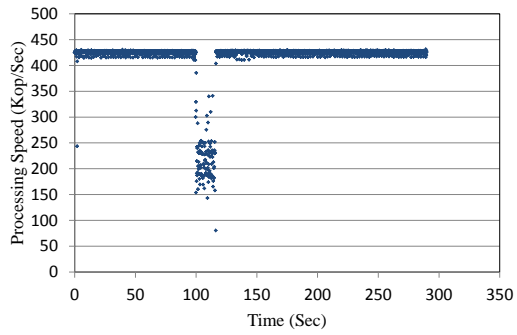


図 2. 1[Gbps]における VM の CPU 性能

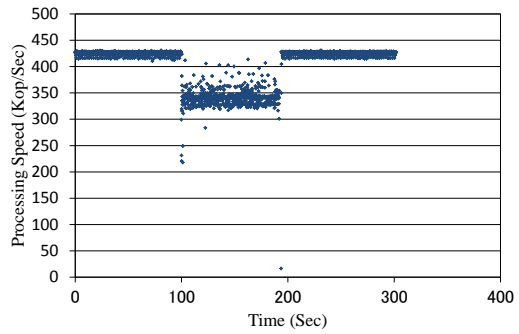


図 3. 100[Mbps]における VM の CPU 性能

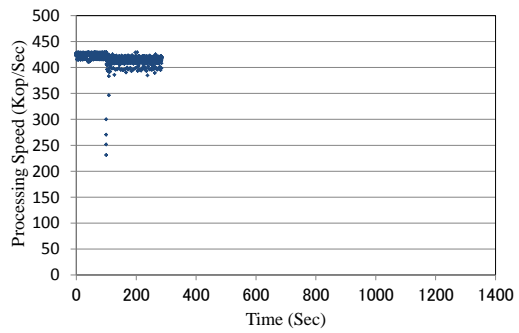


図 4. 10[Mbps]における VM の CPU 性能

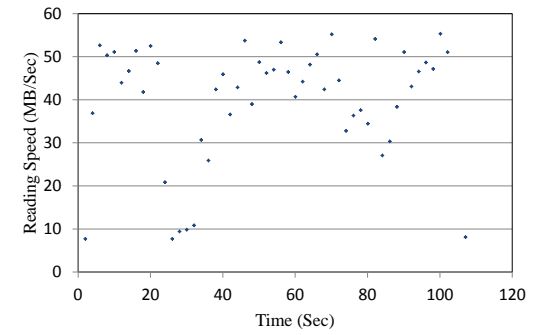


図 5. 1[Gbps]における I/O 性能

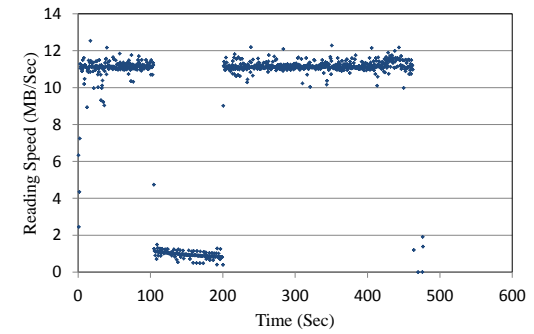


図 6. 100[Mbps]における I/O 性能

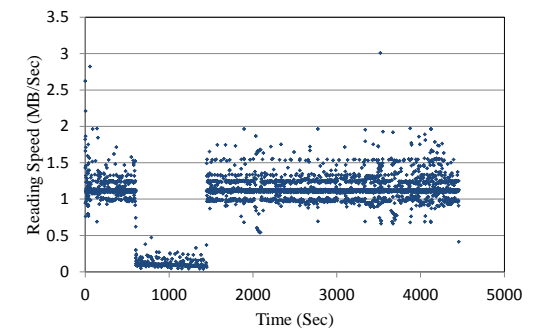


図 7. 10[Mbps]における I/O 性能

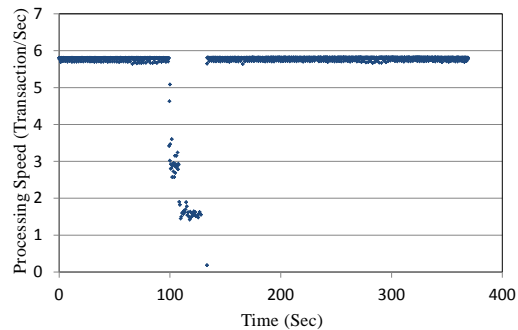


図 8. 1[Gbps]における VM のメモリ内容変更

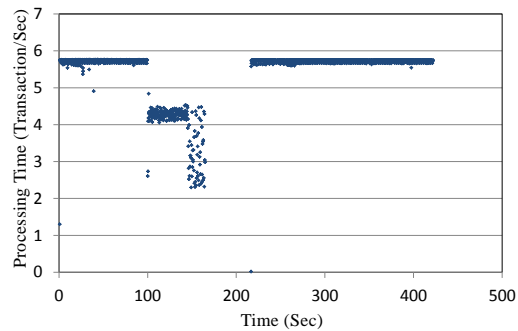


図 9. 100[Mbps]における VM のメモリ内容変更

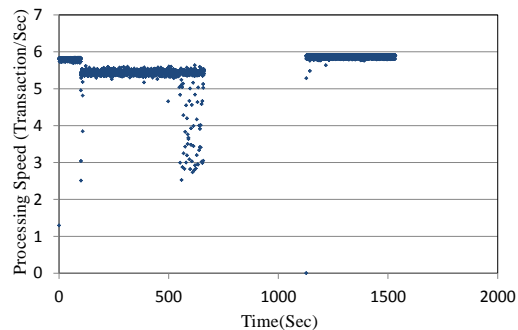


図 10. 10[Mbps]における VM のメモリ内容変更

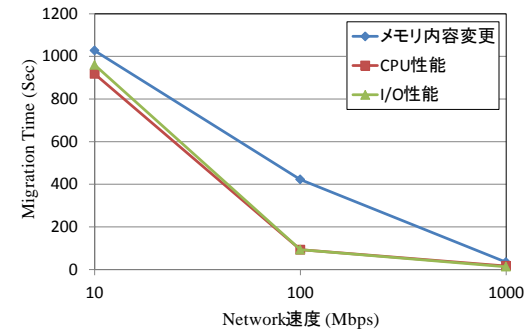


図 11. Live migration time

図 2, 3, 4 の結果より, ライブ型マイグレーション実行中の VM の CPU 性能の低下はネットワーク速度が 1[Gbps]のとき約 50%程度であり処理時間は 289 秒となっている. 100[Mbps]のとき性能低下は約 15%程度であり処理時間は 301 秒, 10[Mbps]の時は約 5%程度であり処理時間は 285 秒となっている. 処理時間を比べると通信速度が違っていても大きな差がないことが分かった. また通信速度が高いとマイグレーション中 VM の CPU 性能の低下が大きいことがわかる. これは通信性能が低いときはマイグレーション負荷と通信負荷が低く, 結果として VM 上で動作する処理の性能が向上したと考えられる.

図 5, 6, 7 の結果より, ライブ型マイグレーション中の I/O 性能は通常時の 1[Gbps]が約 20%, 100[Mbps]が約 10%, 10[Mbps]が約 10%であり, ネットワーク速度が変化してもマイグレーション中は VM 上の I/O 性能が著しく低下することが分かった.

また, 図 8, 9, 10, 11 の結果からメモリ内容の変更に伴い VM の停止時間, マイグレーション時間が増加していることが分かる. これらはメモリ内容の変更によりマイグレーション差分転送が多くなり, 移動先と移動元の同期のため VM のプロセスを停止させてしまうのではないかと考える.

5. 複数台 VM におけるマイグレーション中 VM の基本性能評価

同時に稼働させる VM を 3 台に増やした環境で, 内一台をライブ型マイグレーション時の VM 上のプロセスの基本性能測定を行った. 環境構成を図 11 に示す. Source Host 上から Destination Host にマイグレーションする VM を vm1, Destination Host 上にある VM を vm2, Source Host 上にある VM を vm3 とする. 実験環境は表 2 の通りである.

VM 上でプロセス開始してから 100 秒程度でライブ型マイグレーションの CPU 性能,

I/O 性能, VM のメモリ内容変更をネットワーク速度 1[Gbps], 100[Mbps], 10[Mbps] それぞれで測定を行った. 100[Mbps]の CPU 処理結果を図 13 に示す. 100[Mbps]の I/O 処理の結果を図 14 に示す. 100[Mbps]の VM のメモリ内容変更の結果を図 15 に示す. なお 1[Gbps]と 10[Mbps]の CPU 性能, I/O 性能, VM のメモリ内容変更の結果は付録に示す.

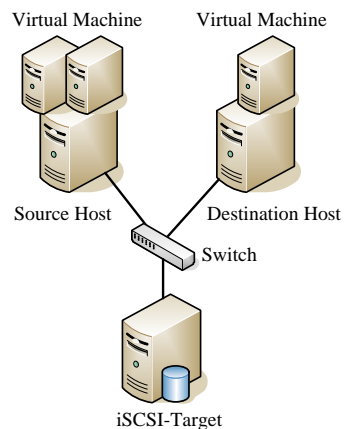


図 12. 複数台 VM における環境構成

表 2. 複数台 VM における実験環境

	OS	CPU	Memory (MB)	HDD (GB)
Source Host	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	4096	160
Destination Host	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	4096	160
iSCSI-Target	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	1024	2048
vm1	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	1024	50
vm2	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	1024	50
vm3	CentOS5.3x86_64	AMD Athlon 1640B	1024	50

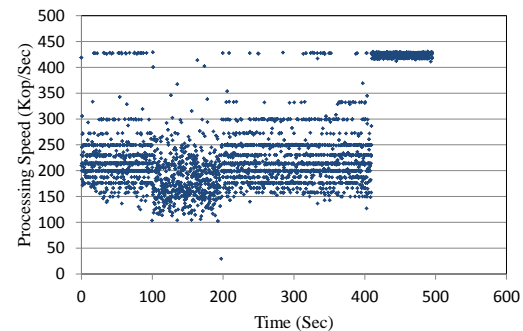


図 13-a. 100[Mbps]における vm1 の CPU 性能

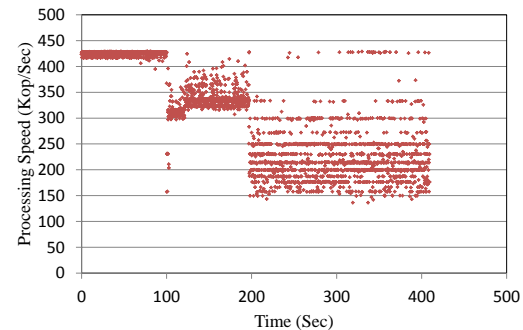


図 13-b. 100[Mbps]における vm2 の CPU 性能

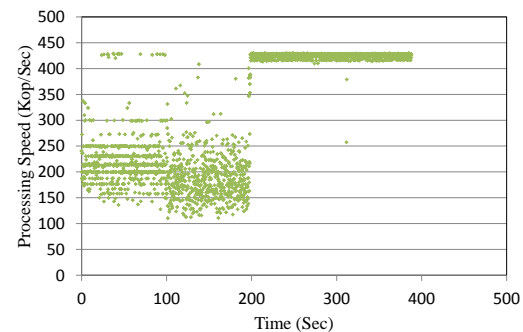


図 13-c. 100[Mbps]における vm3 の CPU 性能

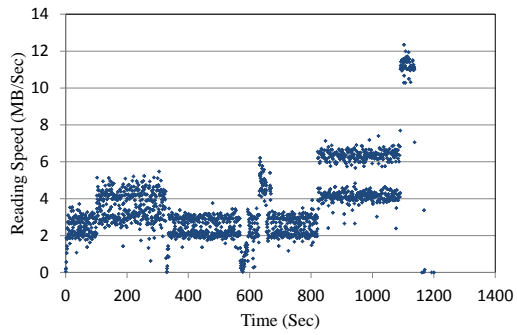


図 14-a. 100[Mbps]における vm1 の I/O 性能

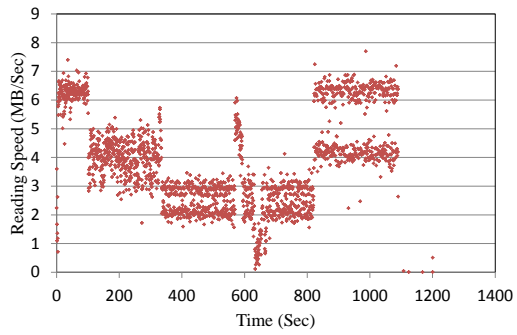


図 14-b. 100[Mbps]における vm2 の I/O 性能

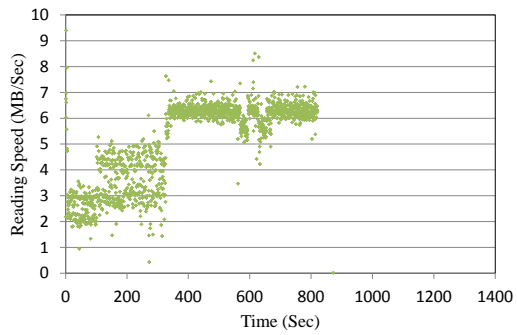


図 14-c. 100[Mbps]における vm3 の I/O 性能

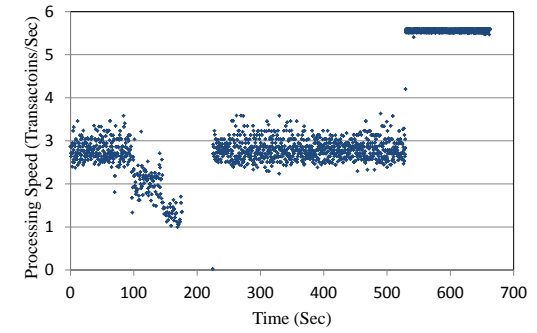


図 15-a. 100[Mbps]における vm1 のメモリ内容変更

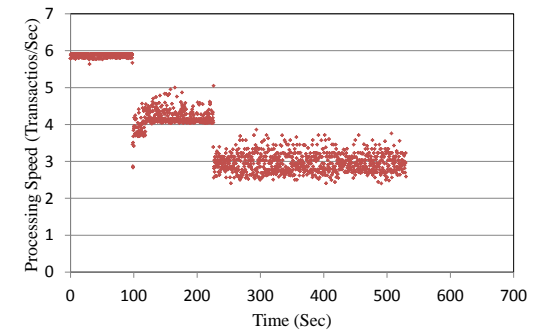


図 15-b. 100[Mbps]における vm2 のメモリ内容変更

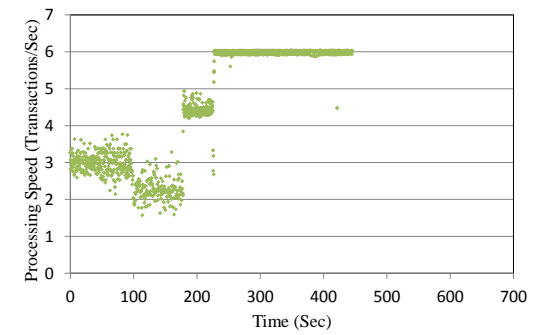


図 15-c. 100[Mbps]における vm3 のメモリ内容変更

6. 考察

CPU 性能の結果より, vm1 のマイグレーション前後の CPU 性能は, Source Host 上の vm3 のマイグレーション前と Destination Host 上の vm2 のマイグレーション後の, CPU 性能が同程度だと分かる. このところにより, CPU 性能はマイグレーション対象になっているかは関係ないと考えられる. ネットワーク速度が 1[Gbps]の結果を比べるとやや性能低下が小さくなっていることが分かった. また 100[Mbps]のがマイグレーション時間は伸びているのだが, CPU 演算の完了時間には大きな差は見られない.

ネットワーク速度が 100[Mbps], 10[Mbps]の I/O 性能の結果より, vm1, vm3 はマイグレーション前よりもマイグレーション中の I/O 性能が高くなっている. しかし vm2 はマイグレーション中の I/O 性能が低くなっている. また vm1 と vm3 はマイグレーション後までの I/O 性能は同程度だと分かる.

VM のメモリ内容変更の結果より, vm1 がマイグレーション中にプロセスと停止している間は Source Host の vm3 の性能が向上している. またネットワーク速度が遅いと VM 性能の劣化が少ないことがわかった. またマイグレーション前とマイグレーション中の vm1 が停止してしまうまでは, vm1 と vm3 の性能は似ていることが分かる.

7. おわりに

本稿では, ライブマイグレーション実行中の VM の性能に注目し, その性能に関する考察を行った. 調査の結果, 移動中 VM 上における CPU 演算性能の劣化は小さいが I/O 処理の性能劣化は大きいこと, ネットワーク速度が低い場合は性能劣化が小さいこと, 移動元ホストにおける性能劣化が移動先ホストにおける性能劣化よりも大きいことが確認された.

今後はマイグレーション中の VM 上プロセスの性能劣化の抑制方法を提案する予定である.

謝辞

本研究は科研費(22700039)の助成を受けたものである.

参考文献

- [1] P. Barhan, B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, T. Harris, A. Ho, R. Neugebauer, I. Pratt, and A. Warfield, "Xen and the art of virtualization," SOSP '03 Proceedings of the nineteenth ACM symposium on Operating systems principles, New York, NY, USA, ACM Press, 2003, pp. 164-177
- [2] T. Hirofuchi, H. Ogawa, H. Nakada, S. Itoh, and S. Sekiguchi, "A Transparent Storage Relocation Mechanism for Wide-area Live Migration of Virtual Machines," IPSJ

Transactions on Advanced Computing Systems Vol. 2 No. 2 pp.152-165 (2009) (in Japanese)

- [3] M. Hines, U. Deshpande, and K. Gopalan, "Post-Copy Live Migration of Virtual Machines,"
- [4] R. Bradford, E. Kotsovinos, A. Feldmann, H. Schioberg,, "Live Wide-Area Migration of Virtual Machines Including Local Persistent State,"
- [5] C. Clarl, K. Fraser, S. Hand, J. Hansen, E. Jul, C. Limpach, I. Pratt, A. Warfield, "Live Migration of Virtual Machines", USENIX Association NSDI '05: 2nd Symposium
- [6] T. Hirofuchi, T. Yokoi, T. Ebara, Y. Tanimura, H. Ogawa, H. Nakada, Y. Tanaka, and S. Sekiguchi, "A Multi-Site Virtual Cluster System over WAN," SACSIS 2008, pp. 333-340 (2008)
- [7] A. Kivity, Y. Kamay, and D. Laor, "KVM: the linux virtual machine monitor," In Proc. of Ottawa Linux Symposium (2007)
- [8] M. Nelson, B. Lim, and G. Hutchins, "Fast transparent migration for virtual machines," In Usenix, Anaheim, CA (2005), pp. 25-25
- [9] OpenVZ, "Container-based Virtualization for Linux," <http://www.openvz.com/>
- [10] P. C. Sapuntzakis, R. Chandra, B. Pfaff, J. Chow, S. M. Lam, and M. Rosenblum, "Optimizing the migration of virtual computers," ACM SIGOPS Operating System Review, Vol.36, No.51, pp.377-390 (2002)

付録

1[Gbps]の CPU 性能結果を図 16, 17, 18 に示す.

10[Mbps]の CPU 性能結果を図 19, 20, 21 に示す

1[Gbps]の I/O 性能結果を図 22, 23, 24 に示す.

10[Mbps]の I/O 性能結果を図 25, 26, 27 に示す.

1[Gbps]の VM のメモリ内容変更結果を図 28, 29, 30 に示す.

10[Mbps]の VM のメモリ内容変更結果を図 31, 32, 33 に示す.

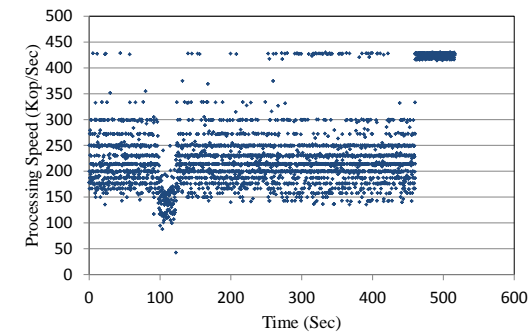


図 16 1[Gbps]における vm1 の CPU 性能

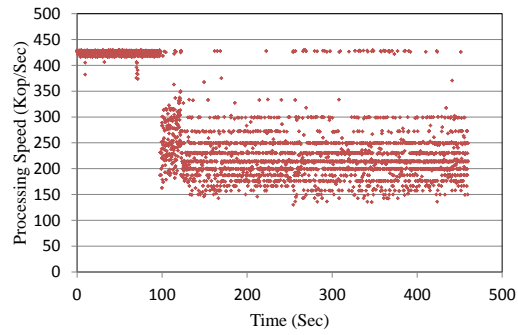


図 17. 1[Gbps]における vm2 の CPU 性能

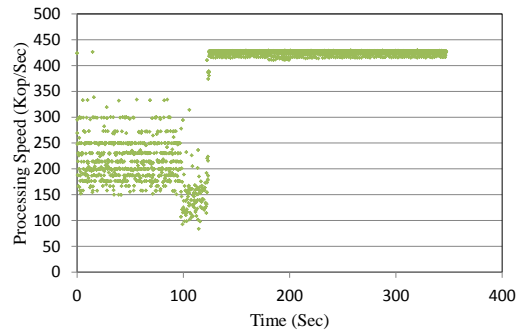


図 18. 1[Gbps]における vm3 の CPU 性能

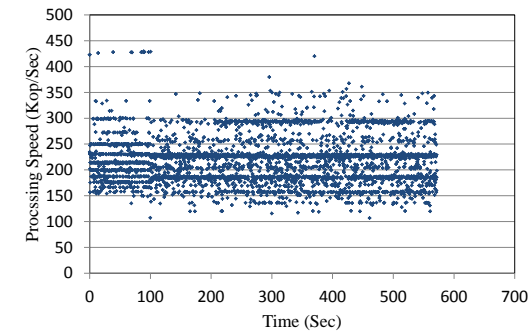


図 19. 10[Mbps]における vm1 の CPU 性能

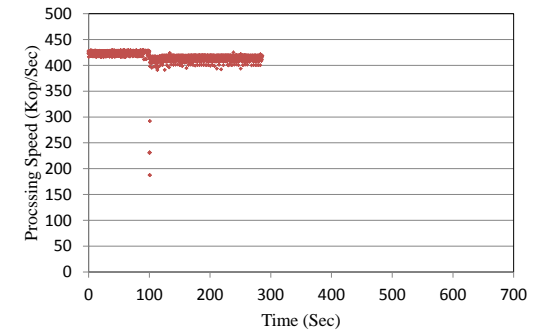


図 20. 10[Mbps]における vm1 の CPU 性能

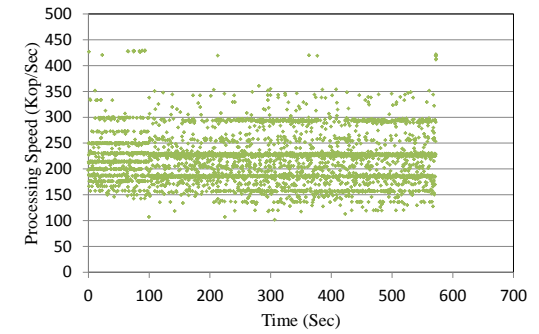


図 21. 10[Mbps]における vm1 の CPU 性能

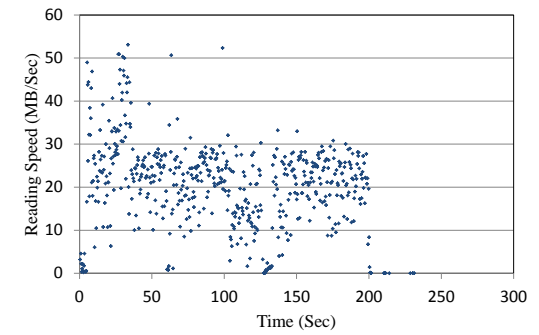


図 22. 1[Gbps]における vm1 の I/O 性能

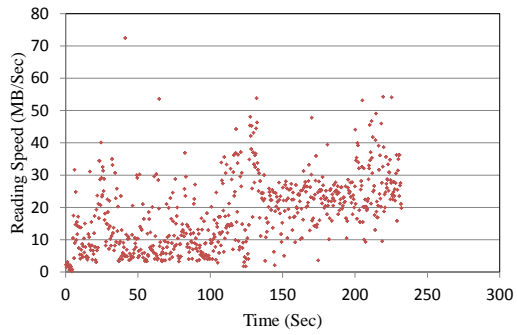


図 23. 1[Gbps]における vm2 の I/O 性能

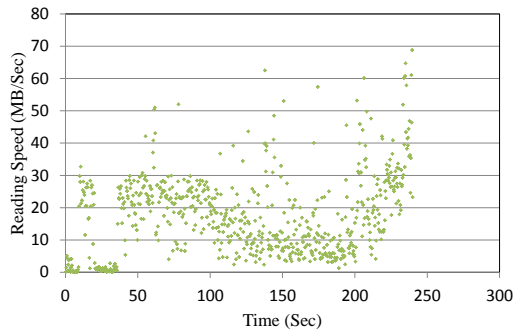


図 24. 1[Gbps]における vm1 の I/O 性能

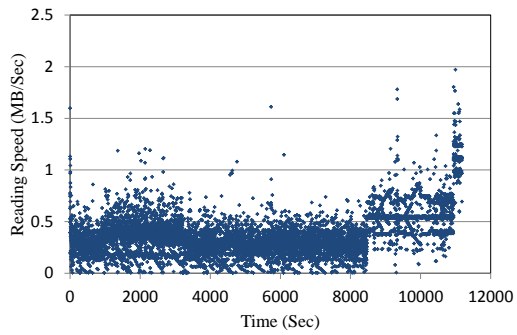


図 25. 10[Mbps]における vm1 の I/O 性能(10[Gbps])

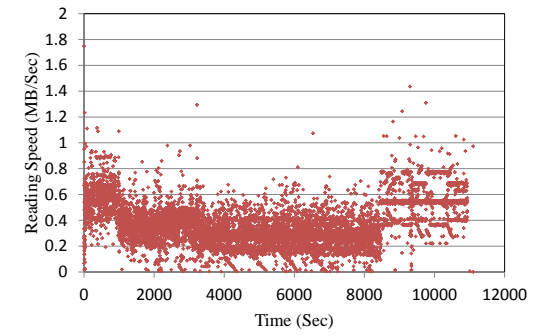


図 26. 10[Mbps]における vm2 の I/O 性能

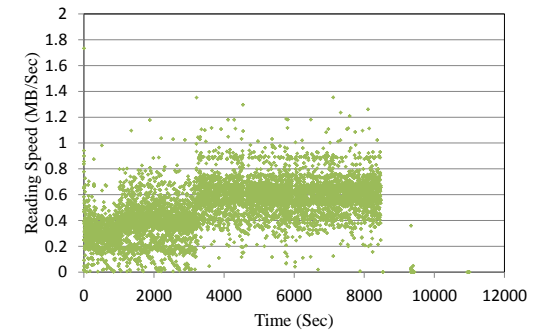


図 27. 10[Mbps]における vm3 の I/O 性能

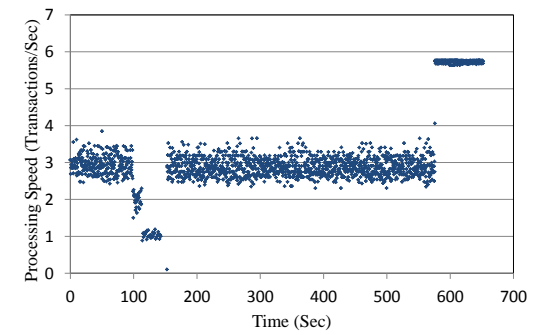


図 28. 1[Gbps]における vm1 のメモリ内容変更

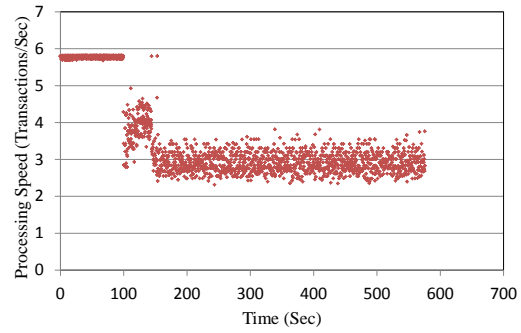


図 29. 1[Gbps]における vm2 のメモリ内容変更

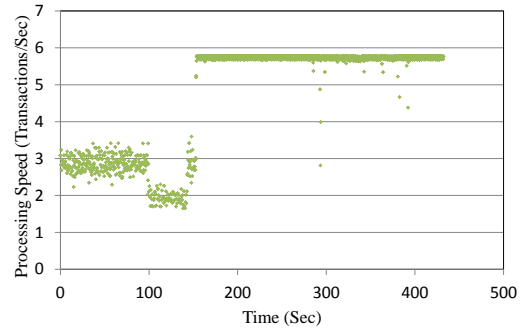


図 30. 1[Gbps]における vm3 のメモリ内容変更

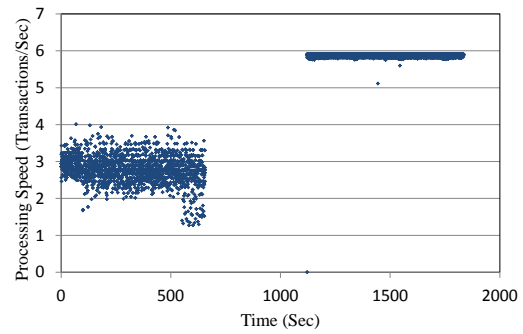


図 31. 10[Mbps]における vm1 のメモリ内容変更

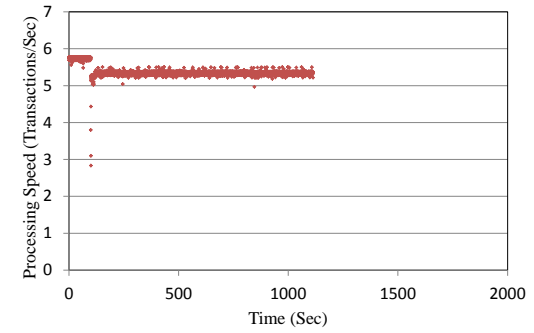


図 32. 10[Mbps]における vm2 のメモリ内容変更

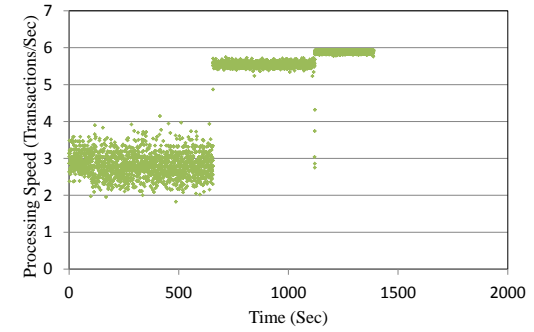


図 33. 10[Mbps]における vm3 のメモリ内容変更