

機関番号：82626

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700038

研究課題名（和文） 仮想計算機の遠隔ライブマイグレーションに関する研究

研究課題名（英文） A Study on Live Migration over Wide Area Network

研究代表者

広渕 崇宏 (HIROFUCHI TAKAHIRO)

独立行政法人産業技術総合研究所・情報技術研究部門・研究員

研究者番号：20462864

研究成果の概要（和文）：本研究では、仮想計算機のライブマイグレーションを、遠隔拠点に対して透過的かつ効率的に実現する手法の開発に取り組んだ。はじめに、仮想計算機ストレージの透過的再配置手法（xNBD）を開発した。次に、仮想計算機メモリの高速再配置手法（Yabusame）を開発した。提案手法のプロトタイプ実装の完成度を高め、それらを応用した仮想化データセンタ運用システムを開発した。データセンタでの評価実験を通して、我々が開発した技術の有用性を確認した。

研究成果の概要（英文）：This project studied live VM migration technologies over wide area network, which enables transparent and efficient relocations among datacenters. The primary outcomes of this study are a storage migration mechanism (xNBD) and an instantaneous migration mechanism for Qemu/KVM (Yabusame). We also developed a virtualized datacenter management system exploiting our migration technologies. Through experiments, we confirmed the advantages of the proposed mechanisms in datacenters.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：システムソフトウェア

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：仮想計算機、ストレージ、マイグレーション、広域分散環境、データセンタ

1. 研究開始当初の背景

データセンタの運用効率を高める技術として、仮想計算機のライブマイグレーション技術が存在する。ある計算機ハードウェア上で動作している仮想計算機を一切停止することなく、ネットワークを通じて別の計算機ハードウェア上にそのまま移動できる。データセンタをまたいで仮想計算機を移動できれば、需要変動に応じたロードバランスや、

電力供給量に応じた稼働調整が可能になる。しかし、現状のライブマイグレーション技術は、低遅延かつ広帯域なネットワークを前提とした設計であり、遠隔拠点に対して仮想計算機を効率的に移動できないという問題があった。

2. 研究の目的

本研究では、仮想計算機のライブマイグレ

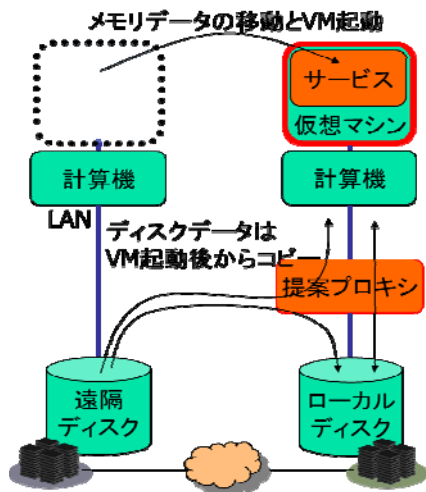
ーションを、遠隔拠点に対して透過的かつ効率的に実現する手法を開発する。

3. 研究の方法

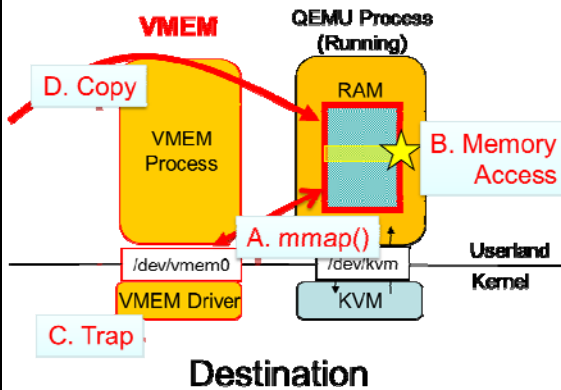
既存のライブマイグレーション技術が広域ネットワークに対して適用が難しい原因は、仮想計算機を再配置する際のデータ転送手法が高遅延のネットワークに向いていない点にある。そこで、仮想計算機を構成するデータのうち、ストレージおよびメモリについて、それぞれ新たな再配置手法を開発した。さらに、その成果を応用した仮想化データセンタの運用システムについて、その優位性を検証した。また、仮想計算機が異なるネットワークに移動した際に、ネットワーク到達性を維持する手法について調査を行った。

4. 研究成果

第一に、仮想計算機を構成するデータにおいて最も大きな要素である仮想ディスクを効率的に移動するために、仮想ディスクの透過的な遅延再配置機構（次図提案プロキシ）を開発した。仮想計算機の再配置時に一度に仮想ディスクを遠隔拠点にコピーしてしまうと、データがすべて転送完了するまで待たねばならず、仮想計算機の実行場所をすぐに切り替えられない。そこで、重要なディスク領域のみ先に移動先にコピーし、その他の領域はあとからコピーすることで、仮想計算機の再配置時間の短縮をはかった。また、仮想計算機のディスク I/O を分析し、仮想ディスクのうち重要なブロックから優先的に転送する手法を開発した。仮想ディスクの移動開始直後の性能低下を軽減できる。研究期間を通して実装の完成度を高め、オープンソースで実装を公開するとともに、我々が進める省エネデータセンタプロジェクトにおいて実環境での有用性を検証した。公開した実装は既に複数の企業から問い合わせを受けており、実際に一部のデータセンタで利用されている。



第二に、仮想計算機を構成するデータとして次に大きい要素である仮想メモリに対しても再配置機構（次図 VMEM）を開発した。必要なメモリ領域のみ移動先にコピーして、仮想計算機の実行ホストを切り替え、その後残りのメモリ領域をコピーする。実行ホストを切り替えるために必要なデータ転送量を 1MB 以下に抑えることで、一般に従来 10 秒以上かかっていた実行ホストの切り替えを 1 秒以内で実現可能とした。仮想計算機のメモリアクセスを分析し、重要なメモリページから移動先に転送することで性能低下を抑制する。



さらに、提案手法は既存仮想マシンモニタ (Qemu/KVM) に対する改変量が少なく、ゲスト OS に対する改変も不要であることから、競合技術に対して優位性がある。国内外の学会等で研究発表を行い、インターネットカンファレンス 2009 において論文賞とデモンストレーション賞を、コンピュータシステムシンポジウム 2009 においては最優秀ポスター・デモンストレーション賞を、CCGrid2010 においては最優秀デモンストレーションを受賞した。国内外で高い評価を頂いており、今後の実用化が期待される段階にある。

第三に、上記の仮想マシンメモリの再配置機構を利用した、仮想化データセンタ管理システムを開発した。我々が提案するメモリ再配置機構を利用すると、データセンタの負荷変動に応じて迅速に仮想計算機の配置を最適化できる。我々のテストベッドクラスタにおいて評価を行った結果、我々の再配置機構を使うと、仮想計算機の性能を高いレベルで保証できることが確認できた。評価結果を論文にまとめ国際会議に投稿した。2011 年度の発表が決定している。

第四に、仮想計算機が異なるネットワークに移動した際にネットワーク到達性を維持する手法について調査を行った。Mobile IPv6 を用いたネットワーク到達性の維持手法について、基本的な動作を確認した。ハンドオーバー時間が長いという問題点やゲスト OS の改変が必要になるという問題点があり、改

善が望まれることを確認した。今後、改良手法を発表する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計13件)

- ① 複数拠点にまたがるe-Science アプリケーション環境構築を目的としたソフトウェア導入・管理機構、広瀬崇宏、横井威、江原忠士、谷村勇輔、小川宏高、中田秀基、工藤知宏、田中良夫、伊藤智、関口智嗣、電子情報通信学会和文論文誌、Vol. J93-D、No. 10、pp. 2197--2208、電子情報通信学会、Oct 2010、査読有
- ② Eliminating Datacenter Idle Power with Dynamic and Intelligent VM Relocation、Takahiro Hirofuchi、Hidemoto Nakada、Hiroataka Ogawa、Satoshi Itoh、Satoshi Sekiguchi、Advances in Intelligent and Soft Computing、pp. 645--648、Springer、Sep 2010、査読有
- ③ 既存VMM への適用が容易でゲスト透過なポストコピー型仮想マシン再配置機構、広瀬崇宏、中田秀基、伊藤智、関口智嗣、情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム、pp. 248--262、情報処理学会、Aug 2010、査読有
- ④ Enabling Instantaneous Relocation of Virtual Machines with a Lightweight VMM Extension、Takahiro Hirofuchi、Hidemoto Nakada、Satoshi Itoh、Satoshi Sekiguchi、The 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster、Cloud and Grid Computing (CCGrid2010)、pp. 73--83、IEEE Computer Society、May 2010、査読有
- ⑤ 瞬間的な実行ホスト切り替えを可能とする仮想マシンの高速ライブマイグレーション機構、広瀬崇宏、中田秀基、伊藤智、関口智嗣、日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズNo. 62、pp. 57--66、日本ソフトウェア科学会、インターネットカンファレンス 2009 (論文賞)、Oct 2009、査読有
- ⑥ 仮想計算機遠隔ライブマイグレーションのための 透過的なストレージ再配置機構、広瀬崇宏、小川宏高、中田秀基、伊藤智、関口智嗣、情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム、pp. 152--165、Vol. 2、No. SIG2(ACS26)、情報処理学会、Jul 2009、査読有
- ⑦ A Live Storage Migration Mechanism over WAN and its Performance Evaluation、Takahiro Hirofuchi、Hidemoto Nakada、Hiroataka Ogawa、Satoshi Itoh and

d Satoshi Sekiguchi、Proceedings of the 3rd International Workshop on Virtualization Technologies in Distributed Computing (VTDC2009)、pp. 67--74、ACM Publishing、Jun 2009、査読有

- ⑧ A Live Storage Migration Mechanism over WAN for Relocatable Virtual Machine Services on Clouds、Takahiro Hirofuchi、Hiroataka Ogawa、Hidemoto Nakada、Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi、Proceedings of the 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid、International Workshop on Cloud Computing (Cloud 2009)、pp. 460--465、IEEE Computer Society、May 2009、査読有

[学会発表] (計22件)

- ① 広瀬 崇宏、Eliminating Datacenter Idle Power with Dynamic and Intelligent VM Relocation、DCAI2010、2010/09/09、スペイン・バレンシア
- ② 広瀬 崇宏、高速マイグレーションを利用した 仮想マシン配置最適化システムの検討、SWoPP2010、2010/08/04、金沢
- ③ 広瀬 崇宏、Enabling Greener Cloud Datacenters with Advanced Virtualization Technology、CCGrid2010、2010/05/19、オーストラリア・メルボルン
- ④ 広瀬 崇宏、Enabling Instantaneous Relocation of Virtual Machines with a Lightweight VMM Extension、CCGrid2010、2010/05/18、オーストラリア・メルボルン
- ⑤ 広瀬 崇宏、瞬間的な実行ホスト切り替えを可能とする仮想マシンの高速ライブマイグレーション機構、インターネットカンファレンス 2009、2009/10/27、京都
- ⑥ 広瀬 崇宏、瞬間的な実行ホスト切り替えを可能とする仮想マシンの高速ライブマイグレーション機構 (デモンストレーション)、インターネットカンファレンス 2009、2009/10/26、京都
- ⑦ 広瀬 崇宏、仮想計算機メモリの遅延再配置による 高速ライブマイグレーション、並列/分散/協調処理に関するサマー・ワークショップ、2009/08/05、仙台
- ⑧ 広瀬 崇宏、A Live Storage Migration Mechanism over WAN and its Performance Evaluation、VTDC 2009 - The 3rd International Workshop on Virtualization Technologies in Distributed Computing、2009/06/15、スペイン・バルセロナ
- ⑨ 広瀬 崇宏、Toward Virtual Machine Packing Optimization based on Genetic Algorithm、International Symposium on

n Distributed Computing and Artificial Intelligence 2009、2009/06/10、スペイン・サラマンカ

- ⑩ 広渕 崇宏、仮想計算機遠隔マイグレーションに対応する ストレージ提供手法の比較検討、第16回「ハイパフォーマンスコンピューティングとアーキテクチャの評価」に関する北海道ワークショップ (HOKKE-2009)、2009/02/27、札幌
- ⑪ 広渕 崇宏、仮想クラスタ遠隔ライブマイグレーションにむけた 仮想計算機ストレージの透過的再配置機構の評価、第117回 ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会、2008/10/15、東京
- ⑫ 広渕 崇宏、仮想クラスタ遠隔ライブマイグレーションにおけるストレージアクセス最適化機構、2008年並列/分散/協調処理に関する『佐賀』サマー・ワークショップ (SWoPP佐賀 2008)、2008/08/05、佐賀

[その他]

<http://grivon.apgrid.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

広渕 崇宏 (HIROFUCHI TAKAHIRO)

独立行政法人産業技術総合研究所・情報技術研究部門・研究員

研究者番号：20462864