

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300026

研究課題名(和文) 移動透過マルチキャスト通信機能を有する仮想化方式の研究

研究課題名(英文) A study on virtualization methods with mobility support functions for multicast communications

研究代表者

相原 玲二 (Aibara, Reiji)

広島大学・情報メディア教育研究センター・教授

研究者番号：50184023

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,200,000円、(間接経費) 4,560,000円

研究成果の概要(和文)：グローバルライブマイグレーション手法は、あるコンピュータ上で動作する仮想計算機を、インターネットに接続された任意のコンピュータ上に移動させ、その動作を継続させる。既存の提案方式はユニキャスト通信のみが利用可能である。本研究ではユニキャスト通信のみならずマルチキャスト通信についても中断時間を短縮する新たなグローバルライブマイグレーション技術を開発した。移動透過マルチキャストの設計、プロトタイプ実装およびその評価を行った。また、仮想計算機のマイグレーション等に関連するセキュリティの諸問題について検討を行い、安全なマイグレーションのための基本方式を示した。

研究成果の概要(英文)：Global live migration techniques migrate a virtual machine running on a computer to any other computer connected to the Internet, continue to execute processes on the virtual machine. The techniques already proposed are available for unicast communications. In this study, we have developed a new global live migration technology to reduce the interruption time for multicast communications not only for unicast. In addition, we considered the various security issues related to the migration of the virtual machine. We designed fundamental methods for realizing the secure migration of virtual machines.

研究分野：総合領域

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：モバイルネットワーク技術 仮想化技術

1. 研究開始当初の背景

あるコンピュータ上で動作する仮想計算機を、インターネットに接続された任意のコンピュータ上に移動(マイグレーション)させ、その動作を継続させるグローバルライブマイグレーション手法が提案されている。マイグレーション先を選ばない柔軟性と、マイグレーション時の通信断が数秒程度で済む点で注目されているが、その対象は1対1のユニキャスト通信のみである。グローバルライブマイグレーションにおいて1対多のマルチキャスト通信への拡張が期待されていた。

2. 研究の目的

本研究はユニキャスト通信のみならずマルチキャスト通信についても中断時間を短縮する新たなグローバルライブマイグレーション技術を開発し、プロトタイプシステムの実装と性能評価を目的としている。本研究の成果により、例えばネットワーク上で大規模なリアルタイムストリーム映像配信等を行う場合、中継ノードの円滑な動的再配置によるシステムの最適化が実現可能となる。

3. 研究の方法

本研究を遂行するにあたり、仮想化の実現方式(ハイパーバイザの動作方式等)を調査検討し、仮想計算機においてマルチキャスト通信を行うための技術的条件整理と問題点の抽出を行った。仮想化の実現方式はホストOS型とハイパーバイザ型に大別することができるが、これまでマルチキャスト通信を考慮した方式の比較検討はほとんど行われていなかった。本研究では、仮想化によるオーバーヘッドが小さいと言われているハイパーバイザ型におけるマルチキャスト通信の取り扱いについて詳細に検討し、技術的条件整理と問題点の抽出を行った。さらに、ホストOS型を前提にした場合との比較を行い、本研究で対象とする仮想化の実現方式を決定した。

次に、研究代表者らが過去に独自開発している移動透過通信アーキテクチャMATを、仮想計算機において移動透過マルチキャストに対応するよう拡張し、詳細設計を行うとともにLinux上での実装を行った。研究代表者らは既に、実コンピュータ(移動ノード)が移動する際、ユニキャストおよびマルチキャスト通信を継続使用(ハンドオーバー)するための研究を行っていた。その結果、複数のインタフェースを利用したユニキャスト・ユニキャスト間、ユニキャスト・マルチキャスト間、およびマルチキャスト・マルチキャスト間ハンドオーバー実現の可能性を示していた。(図1、図2)これらの成果をもとに仮想計算機において移動透過マルチキャスト通信が利用できるよう拡張し、その詳細設計を行った。

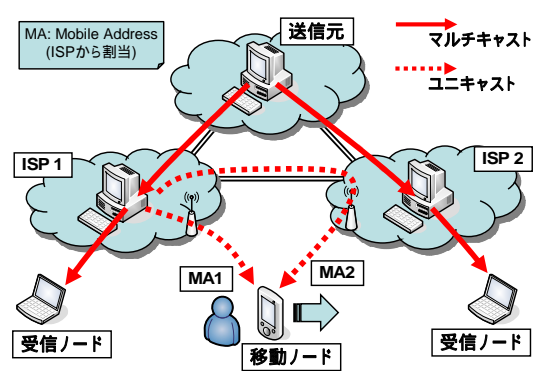


図1 ユニキャスト・マルチキャスト間ハンドオーバー(移動中)

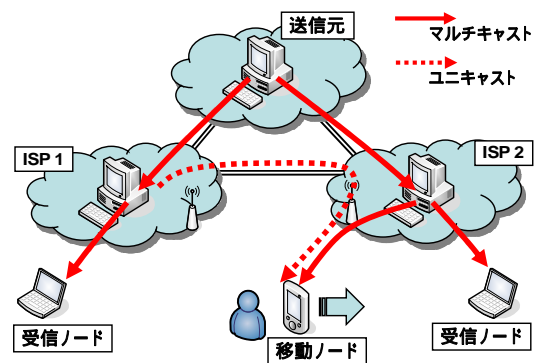


図2 ユニキャスト・マルチキャスト間ハンドオーバー(移動後)

なお、詳細設計においてはグローバルライブマイグレーション機能を実装し、動作を検証するとともにマルチキャスト通信の中断時間などに関する性能評価を行った。また、本方式をリアルタイムストリーム映像伝送の中継ノードへ適用することにより、開発した仮想化技術の総合的な評価を行い、本提案方式の効果および意義を示した。

さらに、マイグレーションにおけるセキュリティ問題の検討と対策について研究を行った。仮想計算機をインターネットに接続された任意のコンピュータ上へ安全にマイグレーションさせるため、仮想計算機とマイグレーション先コンピュータ間での認証が必要である。マイグレーション時の内部情報転送の安全性確保、マイグレーション先コンピュータ上で動作している他の仮想計算機との独立性確保などセキュリティに関連する諸問題が存在する。一方、マイグレーションのための内部情報転送は短時間で完了することが望ましいため、内部情報転送の安全性確保のために転送時間が大幅に長くなることは避けなければならない。また、同一コンピュータ上の複数仮想計算機間でデータ参照の独立性を確保するためのオーバーヘッドにより仮想計算機の処理速度低下が顕著になることも避けなければならない。これらを総合的に検討した上で、特に、今後普及することが期待されているクラウドストレージ

サービスを利用して安全にファイル共有するための方式を中心に研究開発した。

4. 研究成果

本研究では仮想計算機上での稼働を前提に、移動透過マルチキャストのプロトタイプ実装と評価を行った。

仮想化技術の特徴として、セッション状態などアプリケーションの内部状態を保持したまま仮想計算機を任意の実計算機に移動させることが可能である。しかし、ネットワークセグメントが異なる広域ネットワーク環境でこれを展開しようとする場合、IP 層での移動透過性をサポートしなければ通信の継続ができない。この問題に対してグローバルライブマイグレーションが提案されており、セッションを引き継いだまま動的な配置転換ができるものの、ユニキャスト通信のみ（ユニキャストモビリティ）に限定されておりマルチキャストに対する移動透過性（マルチキャストモビリティ）は維持されない。マルチキャストの移動透過性を実現するには、移行先ネットワークにおけるマルチキャストツリーの再構築を早期に完了させることと、移行先ネットワークがユニキャストに限定されたエリアの場合への対応が必須となる。本研究では、仮想計算機（VM; Virtual Machine）がグローバルライブマイグレーションを行う際、VM を稼働させる実計算機（VMS; Virtual Machine Server）がマルチキャスト受信の困難なネットワーク上に設置されているケースを考慮した、ユニキャスト・マルチキャスト両対応のマイグレーションを提供する手法を設計した。具体的にはユニキャストについて、既存の IP モビリティのうち経路最適化に優れた MAT を用い、マルチキャストについては、VMS 単位に設置するエージェントノードが MLD の先行送信とユニキャスト中継処理を自律的に行う。これにより、VM の移行先ネットワークのマルチキャスト対応状況に依らず、VM 上のアプリケーションは継続的なストリーム受信が可能となった。

提案手法の効果を定量的に示すため、グローバルライブマイグレーション（GLM）及び従来のライブマイグレーション（LM）におけるマルチキャスト受信の通信途絶時間と、移動透過 IP マルチキャストのために追加した操作に要する時間などに関する評価実験を行った。評価を行った GLM の構成を図 3 に、通信途絶時間の測定結果を図 4 に示す。Sender から UDP マルチキャストストリームを送信し、VM 内の測定アプリケーションでシーケンス番号を記録することで途絶時間を算出した。なお、本測定では 20Mbps のストリームを利用し、1725pps の値をもとに計算した。通信途絶時間は、マイグレーション対象の VM メモリサイズ等の影響を受けることから、メモリサイズ 128MB から 1024MB の範囲で測定した。その結果、GLM マルチキャスト

の通信途絶時間は、従来の LM ユニキャストよりも 0.05 秒程度大きいものの、ほぼ同水準であることなどが判明した。

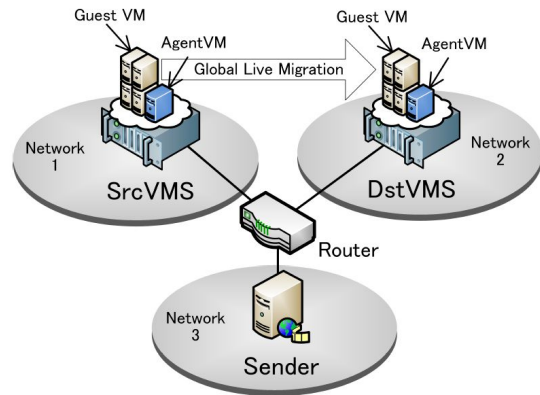


図 3 GLM の評価実験構成

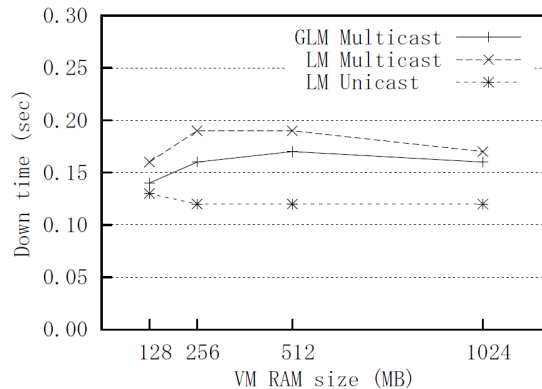


図 4 GLM 及び LM における通信途絶時間

さらに、仮想計算機の OS として Linux OS 以外に Windows OS での開発を行い、動作検証を行った。

また、仮想計算機のマイグレーション等に関連するセキュリティの諸問題について検討を行った。インターネット経由で契約者に対し計算機資源を提供するクラウドサービス上に、契約者の属性に基づくアクセス権を実現するため属性ベース暗号方式を応用した安全なファイルシステムを設計、プロトタイプを実装し、性能評価を行った。さらに、ネットワークを介してデータを保管するクラウドストレージサービスではデータをセキュアに保管する必要があり、機密性と可用性を向上させることができる秘密分散法が注目を集めている。本研究では、秘密分散処理を外部サーバに委託する場合、鍵管理コストを抑えて暗号化と秘密分散法を組み合わせた処理委託方式を提案し、処理時間、通信量などを評価した。これらの研究成果により仮想計算機のマイグレーションを安全に実現するための基本方式を示すことができた。

以上の研究成果により、当初の研究目標である、ユニキャスト通信のみならずマルチキャスト

キャスト通信についても中断時間を短縮する新たなグローバルライブマイグレーション技術を開発し、プロトタイプシステムの実装と性能評価を達成することができた。

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 6 件)

1. 大東俊博, 後藤めぐ美, 西村浩二, 相原玲二, 暗号文ポリシー属性ベース暗号を利用したファイル名暗号化ファイル共有サービスの実装と性能評価, 情報処理学会論文誌, 査読有, 55(3), 2014, pp.1126-1139, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009752400>
2. 吉田耕太, 西村浩二, 大東俊博, 相原玲二, 秘密分散法を利用したクラウドストレージサービスにおけるモバイル機器を考慮した安全な処理委託方式, 情報処理学会論文誌, 査読有, 55(3), 2014, pp.1117-1125, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009752399>
3. Y. Ohishi, K. Maeda, T. Sahara, N. Hayashi, R. Aibara, Consideration of Network Selection Criteria on IP Mobility Communications Quality by Real-time Status and/or Statistical Information, Proc. 2013 IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference Workshops, 査読有, 巻無し, 2013, pp.569-574, 10.1109/COMPSACW.2013.76
4. 鎌田恵介, 近堂徹, 西村浩二, 相原玲二, 移動透過 IP マルチキャストに対応するグローバルライブマイグレーションの設計と性能評価, 情報処理学会論文誌, 査読有, 54(3), 2013, pp.1061-1070, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009552592>
5. K. Kamada, T. KONDO, K. Nishimura, R. Aibara, Design and Evaluation of Global Live Migration with Mobility Support for IP Multicast, 12th IEEE/IPSJ International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2012), 査読有, 巻無し, 2012, pp.338-344, 10.1109/SAINT.2012.90.
6. 鎌田恵介, 近堂徹, 西村浩二, 相原玲二, 移動透過 IP マルチキャストに対応するグローバルライブマイグレーションの設計と性能評価, 情報処理学会, インターネットと運用技術シンポジウム 2011 論文集, 査読有, 巻無し, 2011, pp.23-30, <http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00032355>

[学会発表](計 8 件)

1. 吉田耕太, 西村浩二, 大東俊博, 相原玲二, 秘密分散法を利用したクラウドストレージサービスのための安全な処理委託方式, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 2013年8月1日, 武蔵大学(東京都練馬区)
 2. 吉田耕太, 西村浩二, 大東俊博, 相原玲二, 秘密分散法を利用したクラウドストレージサービスのための安全な処理委託方式の実装と評価, Computer Security Symposium 2013, 2013年10月21日, サンポート高松(香川県高松市)
 3. K. Yoshida, K. Nishimura, T. Ohigashi, R. Aibara, Implementation and Evaluation of Secure Outsourcing Scheme for Cloud Storage Services using Secret Sharing Scheme, The 8th International Workshop on Security, Poster Session, 2013年11月18日~19日, 沖縄県市町村自治会館(沖縄県那覇市)
 4. 熊谷悠平, 西村浩二, 大東俊博, 近堂徹, 相原玲二, 認証フェデレーションに基づく分散ファイル管理システムの提案, 情報処理学会研究報告 Vol.2012-IOT-18 No.8, 2012年6月28日, 東京都小金井市
 5. 後藤めぐ美, 大東俊博, 西村浩二, 相原玲二, 属性ベース暗号を利用したファイル名暗号化ファイル共有サービスの実装と評価, 電子情報通信学会情報通信システムセキュリティ(ICSS)研究会, Vol.112, No.315, ICSS2012-53, 2012年11月22日, 広島県廿日市市
 6. 王博丞, 近堂徹, 大東俊博, 岸場清悟, 相原玲二, 移動透過通信支援のためのネットワーク情報収集システムの実装, 情報処理学会研究報告 Vol.2013-IOT-20 No.38, 2013年3月15日, 奈良県奈良市
 7. 後藤めぐ美, 大東俊博, 西村浩二, 相原玲二, 属性ベース暗号を利用したファイル名暗号化ファイル共有サービス, 情報処理学会研究報告 Vol.2012-IOT-16 No.36, 2012年3月16日, 北海道札幌市
 8. 後藤めぐ美, 大東俊博, 相原玲二, 属性ベース暗号を利用したファイル名暗号化ビューアの提案, 平成 23 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2011年10月22日, 広島県広島市
6. 研究組織
(1)研究代表者
相原 玲二 (AIBARA REIJI)

広島大学・情報メディア教育研究センター・教授
研究者番号：50184023

(2)研究分担者

岸場 清悟 (KISHIBA SEIGO)
広島大学・情報メディア教育研究センター・助教
研究者番号：30274137

近堂 徹 (KONDO TOHRU)
広島大学・情報メディア教育研究センター・准教授
研究者番号：90437575

大東 俊博 (OHIGASHI TOSHIHIRO)
広島大学・情報メディア教育研究センター・助教
研究者番号：80508127

(3)連携研究者

西村 浩二 (NISHIMURA KOUJI)
広島大学・情報メディア教育研究センター・教授
研究者番号：90263673

田島 浩一 (TASHIMA KOUICHI)
広島大学・情報メディア教育研究センター・助教
研究者番号：50325205