

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500083

研究課題名(和文) 移動透過な仮想計算機によるデバイス間アプリケーションポータビリティに関する研究

研究課題名(英文) A study of Application Portability by the Mobility-supported Virtual Machine

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、クライアントデバイスまでを対象とした複数デバイス間でのシームレスなアプリケーションポータビリティを可能とするために、仮想計算機上のOSの改変を必要とせずネットワーク側で移動透過性を保証する新たなグローバルライブマイグレーション手法を提案し、評価した。これに加え、広域分散ストレージ技術とグローバルライブマイグレーションを組み合わせることで、無線環境下で継続的に個人のコンピューティング環境を引き継ぐためのプラットフォームについて設計し、有用性について検討した。

研究成果の概要(英文)：This research proposed an advanced global live migration which providing mobility function by the network without any modification to the operating system on the hypervisor. The method will improve seamless application portability among multiple client devices. We implemented the proposed method and evaluated the effectiveness of it. And we designed the application portability platform, which be able to bring continuous personal computing environment by combining the global live migration and widely-distributed storage technology.

研究分野：計算機システム・ネットワーク

キーワード：IP移動透過性 ライブマイグレーション Openflow

1. 研究開始当初の背景

無線通信網に代表されるネットワークの高度化や携帯型コンピュータの普及を背景に、ネットワーク環境におけるコンピューティングモデルが大きく変化しつつある。これまで利用者端末の上で動作させていたアプリケーションは、ネットワーク上の潤沢な計算資源と連携する形で提供されるようになりつつあり、端末自身の計算能力や電力供給の制限から開放されることで、新たな利用形態が実現されていくと考えられる。今後は場所や端末の制約を受けない持続的なサービス提供（アプリケーションポータビリティ）が求められており、端末も渡り歩きながら個人のコンピューティング環境を引き継ぐことへの期待は大きい。

このような持続的なサービス提供を実現するためには仮想計算機（VM）システムの高度化が必要不可欠となる。なかでも、OS やアプリケーションをハードウェアから切り離し、流動性を向上させることができるライブマイグレーションの活用がポイントとなる。研究代表者らはこれまで、仮想化技術と IP 移動透過通信技術を組み合わせることで、ネットワークセグメントの制約を受けないライブマイグレーションを可能にするグローバルライブマイグレーションを提案し、その効果を示してきた。

しかしながら、このグローバルライブマイグレーションをデバイス間のアプリケーションポータビリティに適用するには2つの大きな課題が存在した。ひとつは VM 上の OS の変更を必要とするため、多種多様な OS やアプリケーションへの対応が困難であること、もうひとつは無線環境などのネットワーク品質が安定しないクライアントデバイスをマイグレーション範囲として考慮することが難しいという点である。

2. 研究の目的

本研究では、前述した課題に対して、仮想計算機上の OS の変更を必要とせずネットワーク側で移動透過性を保証する新たなグローバルライブマイグレーション手法を提案する。これにより、クライアントデバイスまでを対象とした複数デバイス間でのシームレスなアプリケーション移動を促進することが可能となる。また、広域分散ストレージ技術と IP 移動透過通信技術を組み合わせることで、無線環境下で継続的に個人のコンピューティング環境を引き継ぐための「デバイス間アプリケーションポータビリティ」プラットフォームについて検討および評価することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では研究期間内に、以下の各要素に細分化した技術検討および開発・実装を進めた。

(1) ネットワーク側で移動透過性を提供するグローバルライブマイグレーション

研究代表者らがこれまで実現してきたグローバルライブマイグレーションは IP 移動透過通信に対応させるために OS の大幅な変更を必要とし、これが普及の妨げとなる可能性があった。そこで本研究では、物理的な制約のない仮想化技術の特徴を活かし、移動透過通信機能のみを分離した仮想アプライアンスとして提供することで、ネットワーク側で移動透過性を保証するグローバルライブマイグレーションを設計する。NAT-PT 方式や OpenFlow 方式などの手法が考えられるが、ここでは OpenFlow を用いた実現手法について示す。

OpenFlow 技術によるモビリティゲートウェイを図 1 に示す。各拠点のハイパーバイザには、OpenFlow を実装した仮想 L2 スイッチを用意し、グローバルライブマイグレーション対象の VM はこの仮想スイッチ配下に接続される。VM には恒久的に利用する IP アドレス(HoA)が付与され、どこの拠点にマイグレーションしても常に同じ HoA を利用し続ける。一方で、OpenFlow スイッチ側では場所に依存した IP アドレス(MoA)が付与され、そのマッピング情報を OpenFlow コントローラにて一元的に管理、スイッチ間で共有することで、VM をルータを超えてライブマイグレーションさせても、OpenFlow スイッチ間でアドレス変換機構による通信の継続性を保証することができる。本研究では、システムの動作フローについての検討も実施し、VM のマイグレーションをトリガに各拠点の OpenFlow スイッチに対してマッピング情報の更新をプッシュ配信し、通信開始に要する時間を削減する手法についても検討した。

実験では、異なるネットワークセグメント間で本提案機構によるグローバルライブマイグレーションが実現でき、通常のライブマイグレーションと同等程度の途絶時間で通信継続が可能であることを定量的に示した。

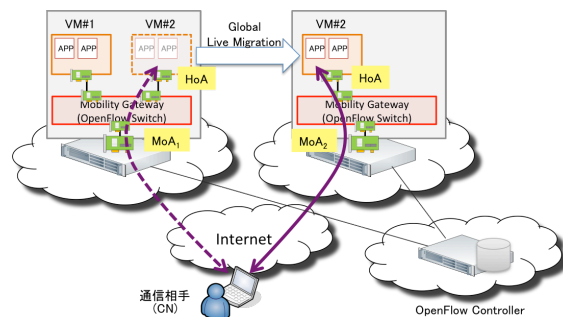


図 1 OpenFlow によるモビリティゲートウェイ

(2) デスクトップストリーミングアプリケーションを利用しアプリケーションポータビリティ

- ① デスクトップストリーミングの広域ライブマイグレーション実証評価

アプリケーションポータビリティを実現するために、デスクトップストリーミングとグローバルライブマイグレーションを組み合わせた、アプリケーション継続性の検討を行った。

まずグローバルライブマイグレーションによるデスクトップストリーミングへの影響を明らかにするために、広域分散環境における実証実験を実施した。実験環境を図2に示す。検証では、広島大学、金沢大学、国立情報学研究所の3拠点で構成する広域分散ストレージを利用してVMのディスクイメージを共有する。CNからVMに対して通信を行いながら、VMが広島大学と金沢大学の異なるネットワークセグメント間での広域グローバルライブマイグレーションを実施した際の処理時間および途絶時間に関して評価を行った。

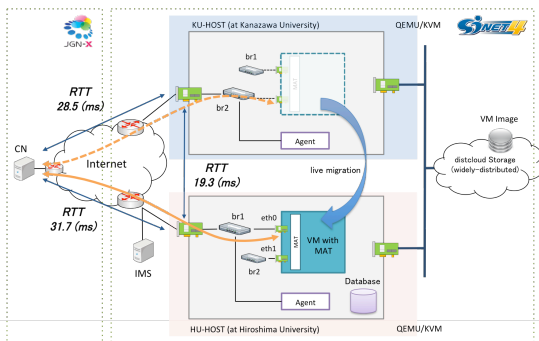


図2 実証実験構成図

また、広島大学と広島市立大学の2拠点間で仮想デスクトップアプリケーションのグローバルライブマイグレーションの評価も行った。その様子を図3に示す。この実験では、プライマリサイトとセカンダリサイトの2拠点を想定した広域ネットワーク上でデスクトップOSをマイグレーションさせるものである。この結果から、デバイス間でデスクトップアプリケーションが切断されることなく継続的に利用できることを確認した。

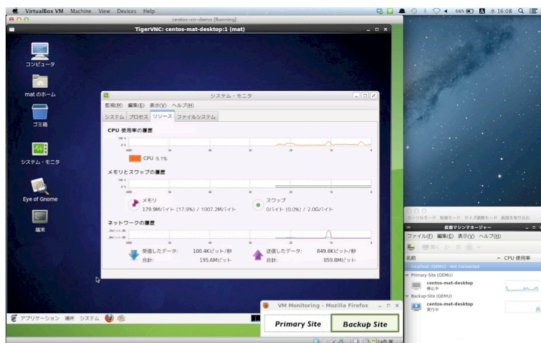


図3 デスクトップアプリケーションによる実験

② デバイス間アプリケーションポータビリティの設計

アプリケーションポータビリティでは、移動するデバイス間でのアプリケーション継続利用だけでなく、端末上のアプリケーション処理をクラウド上に委託することで、端末の接続性が失われてもステータスは失われず、常にどこかでVM(プロセス)が動き続けること概念を指す。求められる要件としては、細かな処理単位(プロセス単位)でVMが利用できること、VMの流動性と管理の強化が可能であること、ネットワーク全体でVMの継続性を確保できること、などが挙げられる。

これらを考慮し、提案したシステム構成を図4に示す。本研究では、デバイスのハイパーバイザ上に移動透過通信機能を含んでハイパーバイザ機能を動作させるネスト化された仮想環境を用いる。広域分散ストレージをVMのベースイメージを管理・配布するためのプラットフォームとして利用し、差分をメモリ上で管理する。これにより、常にアプリケーションとそのOSが動き続けることができる環境を提供することで、端末の接続性が失われてもステータスは失われず、アプリケーションの継続性を提供することが可能となる。

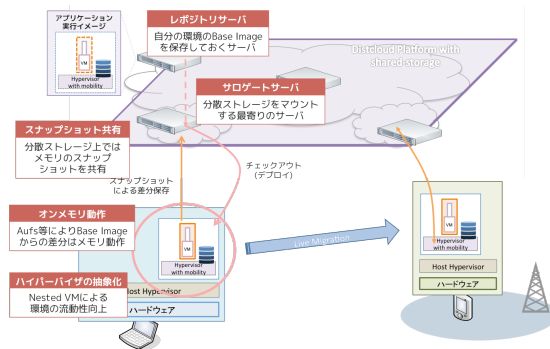


図4 アプリケーションポータビリティの実現

4. 研究成果

本研究では研究期間を通して以下の成果を得た。

1点目に、VMの広域ライブマイグレーションの柔軟性を向上させるグローバルライブマイグレーションの提案と実装を行った。IPアドレス変換機構とマッピング情報の共有を、OpenFlow技術を用いて実現することで、端末や場所に依存しないアプリケーションポータビリティを可能にするためのマイグレーション手法を提案し、その有効性を示した。

2点目に、デスクトップストリーミングアプリケーションを利用した広域ライブマイグレーションの実証実験を行い、マイグレーション時の動作検証ならびに途絶時間の評価を行い、SINET4とJGN-Xの超高速・広域ネットワークを利用した拠点間でのデモ

ンストレーションも行った。

3点目は、デスクトップストリーミングとグローバルライブマイグレーション、広域分散ストレージを組み合わせたデバイス間アプリケーションポータビリティ手法について設計した。

これらの結果を通じて本研究では、今後一層加速化することが予想されるクラウドコンピューティング環境において複数デバイス間で継続してサービスを提供するために必要となる技術について提案し、その有効性について明らかにした。今後の課題としては、利用者の様々なコンテキスト(状況)に応じた柔軟なマイグレーション操作やユーザビリティを向上させたポータビリティ手法の検討などが挙げられる。

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7件)

1. 柏崎礼生,北口善明,近堂徹,他 6名,“広域分散仮想化環境のための分散ストレージシステムの提案と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol.55(3), pp.1140-1150, 2014, 査読有
2. Tohru Kondo, Akiyuki Yokoyama, Kaori Maeda, “An Implementation and Evaluation of a Selective QoS-aware Mobile Multicasting on Multiple Wireless Networks”, Proc. the 7th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous, pp.188-193, 2014, 査読有
3. Ikuo Nakagawa, Kohei Ichikawa, Tohru Kondo,他 3名, “Transpacific Live Migration with Wide Area Distributed Storage”, Proc. the IEEE 38th Annual International Computers, Software and Applications Conference, pp.486-492, DOI:10.1109/COMPSAC.2014.71, 2014, 査読有
4. Tohru Kondo, Kazufumi Suga, 他 3名, “A Mobility Management System for the Global Live Migration of Virtual Machine across Multiple Sites”, Proc. the IEEE 38th Annual International Computers, Software and Applications Conference Workshop, pp.73-77, DOI: 10.1109/COMPSACW.2014.16, 2014, 査読有
5. 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, Vol.54(3), pp.1061-1070, 2013, 査読有
6. Keisuke Kamada, Tohru Kondo, Kouji Nishimura, Reiji Aibara, “Design and Evaluation of Global Live Migration with Mobility Support for IP Multicast”, Proc. the 12th IEEE/IPSJ International Symposium on Application and the Internet, pp.338-344, 2013, 査読有
7. 柏崎礼生,北口善明,近堂徹,他 2名, “広域分散仮想化基盤のストレージ評価の最新動向”, 情報処理学会インターネットと運用技術シンポジウム 2013 論文集, pp.39-42, 2013, 査読有

[学会発表] (計14件)

1. 田中克哉,近堂徹,前田香織, “柔軟なサービス構成を可能にするパーソナライズドストリーム配信フレームワークの設計”, 信学技報, vol.114(335), pp.7-12, 2014年11月27日, グリーンスコア関金, 査読無
2. 坂口和也, 田中克哉, 前田香織, 近堂徹, “WebRTCによる4K映像ストリーミング伝送の試行”, 信学技報, Vol. 114(335), pp.29-30, 2014年11月27日, グリーンスコア関金, 査読無(ポスター発表)
3. 近堂徹, “超広域ライブマイグレーションを実現する技術~広域分散ストレージとVMモビリティ~”, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会, 2014年11月13日, 広島大学学士会館, 査読無(招待講演)
4. 林直樹, 大石恭弘, 前田香織, 浮田悠太, 近堂徹, 相原玲二, “従来端末のIPモビリティを支援するゲートウェイの提案と実装”, インターネットコンファレンス2014論文集, pp.25-32, 2014年11月4日, アステールプラザ, 査読有
5. 藤本大地, 大石恭弘, 林直樹, 前田香織, 近堂徹, 相原玲二, “OpenFlowによる移動透過通信支援システムの提案”, インターネットコンファレンス2014論文集, pp.134-135, 2014年11月4日, アステールプラザ, 査読有(ポスター発表)
6. 浮田悠太, 林直樹, 大石恭弘, 前田香織, 近堂徹, 相原玲二, “移動透過通信支援機能のユーザランドにおける実装”, インターネットコンファレンス2014論文集, pp.139-140, 2014年11月4日, アステールプラザ, 査読有(ポスター発表)
7. 松下知佳生, 横山彰之, 近堂徹, 前田香織, “無線LANにおけるマルチキャストストリーム配信の動的な品質保証機構の切り替えによるQoS向上とその評価”, インターネットコンファレンス2014論文集, pp.141-142, 2014年11月4日, アステールプラザ, 査読有(ポスター発表)
8. 近堂徹, “デバイス間アプリケーションポータビリティを実現するVMマイグレーション”, 第5回地域間インタークラウドワークショップ, 2014年5月28日, 高知工科大学, 査読無
9. 田中克哉, 松下知佳生, 横山彰之, 近堂徹, 前田香織, “パーソナライズド視聴空

- 間と創るクラウド型ライブストリーミングシステムの開発”, 信学技法, Vol.113(276), pp.1-6, 2013年11月1日, グランドプリンスホテル広島, 査読無
10. 林直樹, 近堂徹, 他2名, “IP モビリティ機能を持たない端末のためのモビリティ支援ルータの開発”, 信学技法, Vol.113(276), pp.25-26, 2013年11月1日, グランドプリンスホテル広島, 査読無(ポスター発表)
 11. 近堂徹, “distcloud プロジェクトによるライブマイグレーション評価報告と今後の展開について”, 第33回インターネット技術第163委員会研究会, 2013年5月23日, グランフロント大阪ナレッジキャピタル, 査読無
 12. 王博丞, 近堂徹, 他3名, “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.2012-IOT-20, No.19, pp.1-6, 2013年3月15日, 東大寺総合文化センター, 査読無
 13. 近堂徹, “広域分散環境におけるグローバルライブマイグレーションの実証”, 地域クラウドシンポジウム2012, 2012年8月30日, 北海道大学, 査読無
 14. 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, Vol2012-IOT-18, No.8, pp.1-6, 2012年6月28日, 東京学芸大学, 査読無

[その他]

1. ひろしま IT 総合展 2013 で「IP モビリティ機能を活用した仮想マシンの広域ライブマイグレーション (広島大学, 広島市立大学)」としてデモンストレーション展示を実施
2. SuperComputing2013 にて「Distcloud : Widely Distributed Cluster Storage」として広域分散ストレージと VM 長距離ライブマイグレーションのデモンストレーション展示を実施

6. 研究組織

(1)研究代表者

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