

令和元年6月14日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00170

研究課題名（和文）広域仮想計算機基盤のための仮想ネットワークテストベッド構築に関する研究

研究課題名（英文）A study on virtual network testbed for widely distributed computing environments

研究代表者

市川 昊平（ICHIKAWA, Kohei）

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授

研究者番号：90511676

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、広域に分散するSDNサービスを複数相互接続し、仮想化技術によってソフトウェアで完全に制御可能なネットワーク実験基盤（テストベッド）の構築を目指し、要素技術の開発および実証的実験を実施した。国際環境におけるSDNの相互接続網の構築にあたっては、5カ国10拠点を結んだ環境の構築を達成し、複数管理ドメインにまたがる管理手法としてSDN環境を仮想化するAutoVFlowの展開と実証実験を実施した。また、アプリケーションの実証としてマルチパスを用いた高速データ転送システム、複数管理ドメインにまたがるSDNネットワークモニタリングツールの実証的評価を通して研究成果の評価を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国際的な共同研究コミュニティにおいて、研究者らが自由に共同実験のためのネットワークを設計可能としたことで、様々な研究アイデアを次々に具現化・実証可能としたことは大きな成果だと考える。実際にこのテストベッドの上で、国際的な共同研究のアイデアが次々と生まれ、共同研究関係が飛躍的に生まれ、そして加速されたことは大きな波及効果産んだものと考えられる。また、多数の大学組織を巻き込んだプロジェクトとなったことから、そのそれぞれの大学において本プロジェクトの実行に関わった学生の修士・博士研究テーマの一部となるなど、大きな人材育成効果もあったものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we aimed to construct an experimental programmable environment (testbed) for network by interconnecting multiple widely distributed SDN services. For the purpose, we have developed methods and conducted multiple experiments. We have built an environment connecting 10 organizations in 5 countries in total, and we have deployed AutoVFlow service that virtualizes the management of SDN environments over multiple different domains. We also evaluated the testbed through the evaluations of a high-speed data transfer system using multipath and an SDN network monitoring tool that deployed over the multiple different domains.

研究分野：分散システム

キーワード：SDN 仮想ネットワーク テストベッド

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

仮想計算機技術の発達により、計算資源の配備はソフトウェアによって動的に制御可能となり、計算資源の共有・利用効率を高め、米国 Amazon 社における Amazon EC2 に代表されるようなスケラブルで柔軟な仮想計算機基盤を提供するクラウドサービスを実現可能としている。学術分野においてもクラウド技術の利用は浸透しており、今日では FutureGrid プロジェクトのように、地理的に分散する複数の研究機関や大学、データセンタの保有する計算資源上に、動的に仮想計算機を配備・集約することによって、複数拠点間にまたがるマルチサイト・クラウド環境を構築する技術に関して研究開発が推進されつつある。このような仮想計算機環境は、ソフトウェア制御により容易に構築・共有・破棄ができ、ユーザごとに独立したテストベッドを与えることが可能であり、分散システム研究に関連する新しいアイデアの実験の場および教育の場として活発に活用されている。

このように計算機資源の割り当てを動的にソフトウェアで制御し、複数拠点間において仮想計算機資源を共有するテストベッド環境構築技術に関しては成熟しつつある一方で、国際的なネットワークテストベッドを構築するためのネットワークの制御技術は未確立な現状がある。上述の FutureGrid プロジェクトにおいても、拠点間のネットワーク構築においてはソフトウェアベースのオーバーレイネットワークの利用が勧められており、複数拠点間にまたがるネットワークを有効活用した実験環境を構築する技術は確立されていない。このような問題に対応するため、近年、ネットワークにおいても仮想化技術の確立が試みられ、SDN (Software Defined Networking) 技術に代表されるような仮想ネットワーク技術が提案され、ネットワークもソフトウェアによって動的に制御可能な対象となりつつある。ただし、SDN 技術は当初はキャンパスネットワークや拠点内ネットワークでの実験的なネットワーク技術や新プロトコルのテストや最適化を目的に提案されたものであり、異なる管理ドメインにまたがるような利用例は多くない。近年では JGN-X の RISE や Internet2 の AL2S、GENI のように広域ネットワークにおける SDN サービスも提供されつつあるが、これらサービスにおいても特定の地域や国内での接続網をベースとしており、仮想計算機基盤が既の実現しているような地球規模に分散する国際的なネットワーク実験基盤を提供するには至っていない。したがって、仮想計算機基盤における、さらなる分散システムの研究開発の発展のためには、既存の仮想計算機基盤に統合する形で、国際的なネットワーク実験基盤の構築が必要不可欠であると考えられる。

2. 研究の目的

このような背景から、本研究では、管理ドメインが異なる SDN サービスを複数相互接続し、仮想計算機基盤の構築と同時に、その仮想計算機資源間をつなぐネットワークに関しても仮想化技術によってソフトウェアで完全に制御可能な国際テストベッドの構築を研究目的とした。本研究は、SDN を実装する代表的技術である OpenFlow をベースにし、既存の国内外の広域 SDN サービスおよび各拠点における OpenFlow スイッチを相互に接続したネットワークを構築し、その上で各利用者が容易に仮想計算機と OpenFlow ネットワークを用いた実験を可能とする分散基盤の構築を目指している。

3. 研究の方法

本研究では具体的には、1) 既存の SDN サービス、参画する組織間を相互接続する物理的なネットワーク環境の整備を行い、2) その上で、複数の異なる管理ドメインからなる OpenFlow ネットワーク仮想化技術を確立し、ユーザごとに独立した仮想 OpenFlow ネットワークの提供を目指してきた。

本研究では、これらの目的を達成するため、マイルストーンとなる以下の3つの課題を設定し、研究を進めてきた。

(1) 地球規模に分散する OpenFlow の相互接続網の構築

JGN-X が提供する広域 OpenFlow ネットワークである RISE、および米国内の OpenFlow を用いた相互接続網である AL2S を用い、End-to-End 間で相互に OpenFlow スイッチを接続する分散ネットワークを構築する。

(2) 複数管理ドメインにまたがる OpenFlow ネットワークの仮想化技術の構築

OpenFlow のアーキテクチャでは、ネットワークは中央集中型の1つのコントローラによって制御されるという設計になっている。これは元々の設計が特定の拠点内でのみの動作を想定していたからである。分散ネットワークでは、これを論理的には中央集中型としつつも、物理的な実装は異なるコントローラに処理を分散させ、管理ドメインに沿った階層的な仮想化・運用を可能とする技術を開発する必要がある。

(3) 提案仮想ネットワーク実験基盤上での実証的評価

本研究で提案した分散 OpenFlow ネットワーク上で、仮想計算機資源とそれらを結ぶ OpenFlow ネットワークの制御機能の実証実験を行い、その実用性・有用性について評価を行う。

4. 研究成果

本研究では、国際的な共同研究コミュニティである PRAGMA において、参加組織が有する計算機およびネットワーク資源を接続する形で、PRAGMA-ENT と呼ぶネットワークテストベッドの構築を行った。PRAGMA-ENT では、各国の参加組織がそれぞれ持ち寄った OpenFlow 対応スイッチ

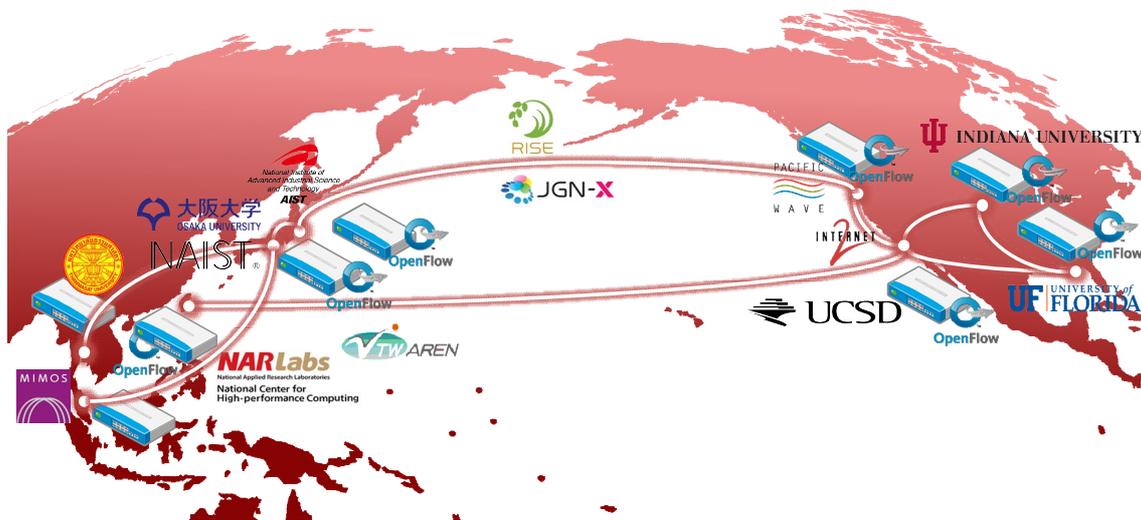


図 1 PRAGMA-ENT の参加組織と概要

および小規模の計算機資源を JGN-X が提供する SDN サービスである RISE (Research Infrastructure for large-Scale network Experiments)を始めとする各国の高速学術網で相互に接続し、大規模で国際的な SDN 基盤の構築をした(図 1)。また、各組織が相互に独立して個々のリソースを管理しつつ、ユーザとなる研究者に対し個別の仮想的な SDN 環境を提供するため、NICT で開発された AutoVFlow を導入し、ネットワークリソースの仮想化を実施した。

本研究では、国外の接続拠点を順調に増やし、大規模な国際的な SDN テストベッドの構築を達成した。本研究期間終了時点で、5カ国 10 組織におよぶテストベッドの構築に成功している。また、構築した SDN テストベッドは、PRAGMA 共同研究コミュニティにおいて様々な研究アイデアを次々に具現化する環境として有効に活用された。Application-aware 経路制御実験では、広域に分散するネットワーク環境においてアプリケーションごとの特性に応じて最適なネットワーク経路を割り当てることで、アプリケーションのパフォーマンスを向上させることが可能であることを示した。また、マルチパス制御実験では複数の異なる経路を束ねて用いることでネットワーク帯域幅を大きく向上できることを示した。また、SDN・P2P 網相互接続実験では、SDN の一部を P2P ベースのオーバーレイ技術によってバイパスすることで柔軟にネットワークテストベッドの環境を拡張できることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

1. Che Huang, Chawanat Nakasan, Kohei Ichikawa, Yasuhiro Watashiba, Hajimu Iida, "A Multipath OpenFlow Controller for Multiple TCP Stream Applications," Journal of Information Processing, 査読有, Vol. 25, pp. 924-933, 2017, DOI: 10.2197/ipsjip.25.924
2. Pongsakorn U-chupala, Yasuhiro Watashiba, Kohei Ichikawa, Susumu Date, Hajimu Iida, "Application-aware network: network route management using SDN based on application characteristics," CSI Transactions on ICT, 査読有, Volume 5, Issue 4, pp 375-385, Springer, 2017, DOI: 10.1007/s40012-017-0171-y
3. Kar-Long Chan, Kohei Ichikawa, Yasuhiro Watashiba, Putchong Uthayopas, Hajimu Iida, "A Hybrid-Streaming Method for Cloud Gaming: To Improve the Graphics Quality delivered on Highly Accessible Game Contents," International Journal of Serious Games, 査読有, Vol. 4, No. 2, pp. 75-86, Serious Games Society, 2017, DOI: 10.17083/ijsg.v4i2.163
4. Kohei Ichikawa, Pongsakorn U-chupala, Che Huang, Chawanat Nakasan, Te-Lung Liu, Jo-Yu Chang, Li-Chi Ku, Whey-Fone Tsai, Jason Haga, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai, Yoshiyuki Kido, Susumu Date, Shinji Shimojo, Philip Papadopoulos, Mauricio Tsugawa, Matthew Collins, Kyuho Jeong, Renato Figueiredo, Jose Fortes, "PRAGMA-ENT: An International SDN Testbed for a Cyberinfrastructure in the Pacific Rim," Concurrency And Computation: Practice And Experience, 査読有, Volume 29, Issue 13, pp. e4138, Wiley InterScience, 2017, DOI: 10.1002/cpe.4138
5. Chawanat Nakasan, Kohei Ichikawa, Hajimu Iida, Putchong Uthayopas, "A Simple Multipath OpenFlow Controller using topology-based algorithm for Multipath TCP," Concurrency And Computation: Practice And Experience, 査読有, Volume 29, Issue 13, pp. e4134, Wiley InterScience, 2017, DOI: 10.1002/cpe.4134

6. Yoshiyuki Kido, Kohei Ichikawa, Susumu Date, Yasuhiro Watashiba, Hirotake Abe, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai, and Shinji Shimjo, "SAGE-based Tiled Display Wall Enhanced with Dynamic Routing Functionality Triggered by User Interaction", *Future Generation Computer Systems (FGCS)*, 査読有, Volume 56, pp. 303-314, 2016, DOI: 10.1016/j.future.2015.09.033
7. Jason H. Haga, Kohei Ichikawa, Susumu Date, "Virtual Screening Techniques and Current Computational Infrastructures", *Current Pharmaceutical Design*, 査読有, Vol.22, No. 23, pp. 3576-3584, Bentham Science, 2016, DOI: 10.2174/1381612822666160414142530

[学会発表](計 46 件)

1. Kyuho Jeong, Renato Figueiredo, Kohei Ichikawa, "On the Performance and Cost of Cloud-Assisted Multi-Path Bulk Data Transfer," 9th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom 2017), pp. 186-193, 2017
2. Wassapon Watanakesuntorn, Putchong Uthayopas, Chantana Chantrapornchai, Kohei Ichikawa, "Real-Time Monitoring and Visualization Software for OpenFlow Network," The 15th International Conference on ICT and Knowledge Engineering, 2017
3. Kyuho Jeong, Renato Figueiredo, Kohei Ichikawa, "PARES: Packet Rewriting On SDN-Enabled Edge Switches For Network Virtualization In Multi-Tenant Cloud Data Centers," 10th IEEE International Conference on Cloud Computing, pp. 9-17, 2017.
4. Che Huang, Chawanat Nakasan, Kohei Ichikawa, Hajimu Iida, "An SDN-Based Multipath GridFTP for High-Speed Data Transfer," 2016 IEEE 36th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), p. 763-764, 2016.
5. Curtis Sera, Shelby Matlock, Yasuhiro Watashiba, Kohei Ichikawa and Jason Haga, "Hydra: A High-throughput Virtual Screening Data Visualization and Analysis Tool," International Conference on Computational Science 2016 (ICCS 2016), pp. 2312-2316, 2016.
6. Kohei Ichikawa, Mauricio Tsugawa, Jason Haga, Hiroaki Yamanaka, Te-Lung Liu, Yoshiyuki Kido, Pongsakorn U-Chupala, Che Huang, Chawanat Nakasan, Jo-Yu Chang, Li-Chi Ku, Whey-Fone Tsai, Susumu Date, Shinji Shimojo, Philip Papadopoulos and Jose Fortes, "PRAGMA-ENT: Exposing SDN Concepts to Domain Scientists in the Pacific Rim", PRAGMA Workshop on International Clouds for Data Science (PRAGMA-ICDS 2015), 2015.
7. Chawanat Nakasan, Kohei Ichikawa, Hajimu Iida, and Putchong Uthayopas, "A Simple Multipath Openflow Controller Using Topology-Based Algorithm for Multipath Tcp," In PRAGMA Workshop on International Clouds for Data Science (PRAGMA-ICDS 2015), 2015.
8. Susumu Date, Hirotake Abe, Dashdavaa Khureltulga, Keichi Takahashi, Yoshuyuki Kido, Yasuhiro Watashiba, Pongsakorn U-Chupala, Kohei Ichikawa, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai and Shinji Shimojo, "An Empirical Study of SDN-accelerated HPC Infrastructure for Scientific Research", International Conference Research and Innovation (ICCCRI), pp. 89-96, 2015.
9. Pisit Makpaisit, Kohei Ichikawa, Putchong Uthayopas, Susumu Date, Keichi Takahashi and Dashdavaa Khureltulga, "An Efficient MPI_Reduce Algorithm for OpenFlow-Enabled Network", 15th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT '15), pp. 261-264, 2015.
10. Che Huang, Chawanat Nakasan, Kohei Ichikawa, Hajimu Iida. "A multipath controller for accelerating GridFTP transfer over SDN," In 11th IEEE International Conference on eScience, pages 439-447, 2015.
11. Anthony Nguyen, Andrea Matsunaga, Mauricio Tsugawa, Susumu Date, Kohei Ichikawa and Jason Haga. "Deployment of a Multi-Site Cloud Environment for Molecular Virtual Screenings," 11th IEEE International Conference on eScience2015, 2015.
12. Pongsakorn U-chupala, Kohei Ichikawa, Hajimu Iida, Nawawit Kessaraphong, Putchong Uthayopas, Susumu Date, Hirotake Abe, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai: "Application-Oriented Bandwidth and Latency Aware Routing with OpenFlow Network," Emerging Issues in Cloud Workshop, 6th IEEE International Conference and Workshops on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom2014), pp. 775-780, 2014
13. Nawawit Kessaraphong, Putchong Uthayopas and Kohei Ichikawa, "Building a Network Performance Benchmarking System Using Monitoring as a Service Infrastructure," The 18th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC2014) , 2014

[その他]

PRAGMA-ENT, https://github.com/pragmagrid/pragma_ent/wiki

6 . 研究組織

(1)研究分担者
なし

(2)研究協力者
なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。