

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401  
研究種目：挑戦的萌芽研究  
研究期間：2014～2016  
課題番号：26540053  
研究課題名(和文)大規模分散可視化管理制御機構VaaSを中核としたデータサイエンス・プラットフォーム  
  
研究課題名(英文)Data Science Platform with VaaS, a Management and Control Structure for Large-scale Distributed Visualization  
  
研究代表者  
下條 真司(Shimojo, Shinji)  
  
大阪大学・サイバーメディアセンター・教授  
  
研究者番号：00187478  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模可視化装置(タイルディスプレイ)を複数拠点の研究者らがデータ解析、データ可視化を行える研究基盤の実現を目指し、複数の研究拠点の研究者らが地理的に分散する科学データ、計算処理された解析結果の意味を直感的に理解できるよう可視化・共有し、協調・連携して大規模なデータを扱う科学研究を容易に行えるデータサイエンス・プラットフォーム(DS-Platform)を構築した。さらに、構築したプラットフォームを国際的な広域ネットワーク環境上に展開を行い、実証実験を通じ、DS-Platformの有用性・有効性について検証・確認を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, the realization of research platform where scientists and researchers, each of which may be at a different organization, can work together is aimed. As a result, this research has succeeded to develop a research platform named Data Science Platform (DS-Platform) where scientists perform access and visualize remote data such as analysis results processed through large-scale computation so that the meaning of such data can be easily understood by scientists. Also, the DS-Platform was deployed and investigated through some experiments on an actual international wide-area network environment. As the result, we confirmed the feasibility, availability and usefulness of the achievement in this research.

研究分野：マルチメディア情報学

キーワード：グリッド クラウド タイルディスプレイ

### 1. 研究開始当初の背景

科学研究で扱われるデータがテラバイト、ペタバイト級と大規模化する傾向にある。また、近年の科学研究はますますボーダレス化する傾向にあり、様々な専門知識をもつ研究者が協調・連携することの必要性・重要性が高まりつつある。その結果、複数の研究拠点にいる研究者らが、地理的に分散する科学データ、計算処理された解析結果の意味を直感的に理解できるよう可視化・共有しつつ、協調・連携して大規模かつ大容量なデータを扱う科学(データサイエンス)研究を容易に推進できる研究基盤の構築が、科学研究の発展に向けた急務となっている。

### 2. 研究の目的

本研究では、地理的に分散する研究者らが、任意の拠点の計算資源で大規模計算を実行、また、それらの解析結果を任意の拠点のタイルディスプレイに表示可能とする、データサイエンス・プラットフォーム(DS-Platform)を実現する。技術的には、タイルディスプレイ構築技術 SAGE を基盤技術とし、複数拠点のタイルディスプレイを中央集権的に管理・制御する、大規模分散可視化管理制御機構をクラウドサービス VaaS (Visualization as a Service) として開発し、これを中核技術として DS-Platform を完成させる。

### 3. 研究の方法

本研究では、上記に記載した目的を実現するために、(1)耐故障性を有するネットワークコネクション制御・管理技術、(2)可視化ソフトウェアスイッチングモジュール、(3)ユーザインタフェースの目的達成のための3課題を定め、研究を推進する。以下、各項目についての研究の方法について記載する。

#### (1) 耐故障性を有するネットワークコネクション制御・管理技術

複数の研究拠点にいる研究者が地理的に分散する科学データ、計算処理された解析結果の意味を直感的に理解できる環境実現のためには、遠隔地(リモート)にあるデータを手元(ローカル)の可視化装置で可視化する遠隔可視化技術が必要不可欠となる。その際、リモートとローカルの可視化装置を接続するネットワーク上での通信が非常に重要となる。本研究では、そのような視点から、タイルディスプレイ構築技術 SAGE に着眼し、そのネットワークストリーミング技術に異常検知機能および耐故障性を拡張することで、VaaS を実現する上での高信頼のネットワークコネクション制御・管理技術を実現する。さらに、遠隔地のユーザの可視化操作に応じて変動するネットワークパラメータに呼応して、可視化データを配送するネットワーク経路を切り替える機能も実現する。

本研究では、上述したネットワークコネク

ション制御・管理技術の実現のために、ネットワーク上を流れるパケットフローを制御可能とする Software Defined Networking (SDN)の技術を採用し、そのネットワークプログラミング性を可視化データのネットワークストリーミングに応用する。

#### (2) 可視化ソフトウェアスイッチングモジュール

研究者が求める可視化環境は多種多様に異なる。そのため、タイルディスプレイのような大規模可視化装置を複数ユーザで共有する場合、ユーザとなる研究者の要望に応じて可視化環境の切り替えが必要となる。しかし、可視化環境を実現する可視化ソフトウェアは、一般的に、その高速化・効率化の視点から、可視化装置のもつハードウェア特性を活用するものも多い。また、同時に、可視化ソフトウェアは、先行して開発されている可視化ライブラリなどを利用しているのが一般的である。さらに、各可視化環境が同一のライブラリ、あるいはソフトウェアを利用するとしても、バージョンの違いによって動作しないということも多々発生する。すなわち、研究者の利用する可視化環境は、当該環境を構成するハードウェアおよびソフトウェアに対する依存性が高く、同一システムへの同時配備が困難であるという問題がある。例えば、同一システム上でディレクトリ分割によりソフトウェア分割を行い、個別に可視化ソフトウェアスタックを管理することも考えられるが、実際の運用管理を考えると実際的ではない。

本研究では、上述した問題に対し、近年実用性が高まっている、軽量な仮想化環境を構築可能なコンテナ型仮想技術を採用し、異なる可視化環境のもつ可視化ソフトウェアスタックのもつバージョン競合などの問題を回避する可視化ソフトウェアスイッチングモジュールを開発する。

#### (3) ユーザインタフェース

コンテナ型仮想技術あるいは SDN 等のネットワーク技術の知識や技術を持たない科学者や研究者に上述のような VaaS 環境を提供する場合、当該研究者らが直感的に利用できるユーザインタフェースが必要不可欠となる。

本研究では、そのような視点から、そのようなユーザが直感的に利用できるユーザインタフェースについても開発を行う。

### 4. 研究成果

本研究では、VaaS を構成する下記の要素技術を開発し、これらを統合したデータサイエンスプラットフォーム(DS-Platform)を実現した。以下、各要素技術についてまとめる。

#### (1) 耐故障性を有するネットワークコネクション制御・管理技術

図1に本研究で実現したネットワーク接続制御・管理技術の概要を示す。本研究では、SAGEを構成するSAILライブラリとSAGE Receiver間の通信をSDNで制御する。SAILライブラリは、タイルドディスプレイを構成する計算ノードに対して、可視化アプリケーションが生成する可視化データを分割し、分割されたデータをピクセルストリームとしてSAIL-SAGE Receiver間のネットワーク接続上に配送する。遠隔可視化では、このようなネットワーク接続に依存するのが一般的であるが、今日利用できる遠隔可視化技術のほとんどは、ネットワークは静的な資源であり制御できないという考えに基づき、ネットワークリンクの異常や故障時に遠隔可視化ができないという問題が発生する。本研究では、この点に着眼し、ネットワークは動的に制御可能な資源として捉え、ネットワーク異常・故障時を検知し、その異常・故障を回避できる技術を開発した。

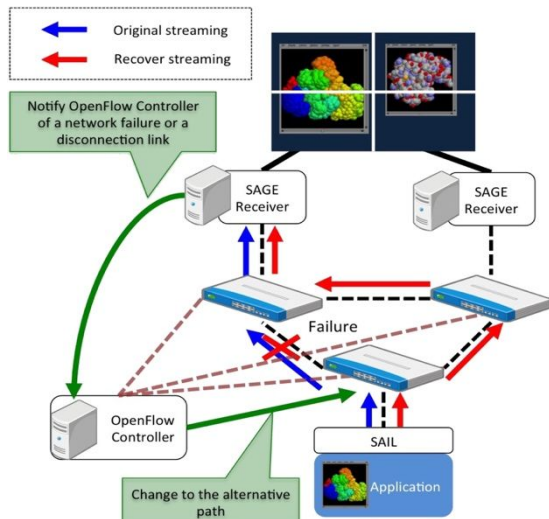


図1 ネットワーク接続制御・管理技術の概要。

技術的には、SAGE Receiver上で受信するパケット量、ジッタなどを観測し、受信するパケットがある一定の閾値を下回る場合に、OpenFlow Controller(図1)と連動し、SAIL-SAGE Receiver間のネットワーク接続を安定したネットワーク配送が可能な経路へと変更するよう実装した。さらに、SAILはタイルドディスプレイに表示される可視化イメージを、それぞれのSAGE Receiverが担当する領域に分割して配送する機能を有している点を活用し、ユーザのマウス操作などに連動して変動する、各SAIL-SAGE Receiver上のネットワーク接続上を流れる通信量を監視し、より広帯域が必要な接続にはより広帯域な通信が可能な経路を割り当てる機能も実装した。

図2に従来手法(SAGE)と本研究での提案手

法でのパケットフローのスループット変動を示す。輻輳が起こった結果、従来手法では80秒の箇所でスループットの低下しているのに対し、提案手法では既存経路も再割当、最適化することで輻輳を避けていることが確認できた。

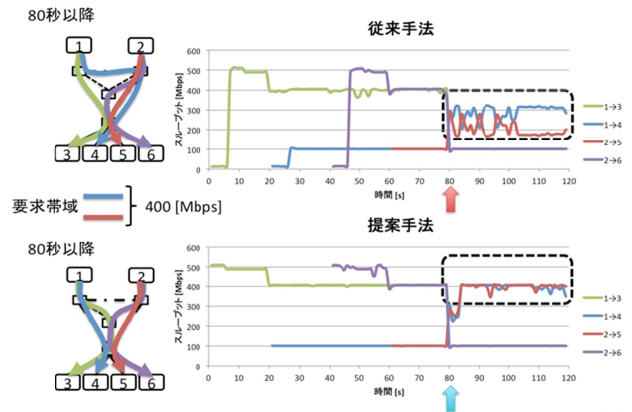


図2 従来手法と提案手法の比較。

## (2) 可視化ソフトウェアスイッチングモジュール

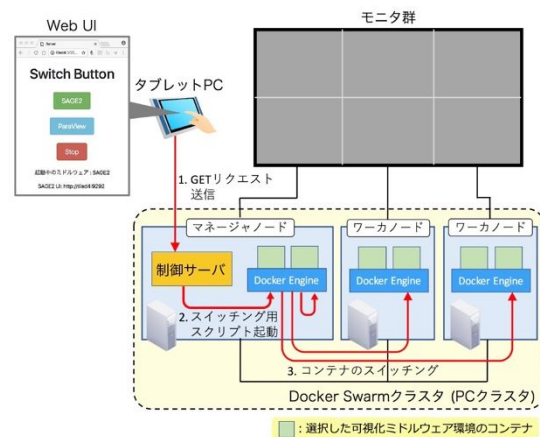


図3 可視化SWスタック  
スイッチングモジュール。

図3に本研究で実現した可視化ソフトウェアスイッチングモジュールの概要を示す。本提案モジュールは、コンテナ型仮想化技術 Docker を基盤技術として採用し、Web UI、制御サーバ、Docker Swarm クラスタの3要素から構成される。Web UIは、タイルドディスプレイの利用者である研究者が専門的な知識や技術を有していなくても、直感的なワンタッチ操作によって、タイルドディスプレイ上の可視化ソフトウェア環境のスイッチングを可能にするインターフェースを提供する。制御サーバは、Web UIの配信とスイッチングの

制御を行う Web サーバとして構築し、Docker Swarm クラスタのマネージャノード上で稼働する。Docker Swarm クラスタは、可視化ソフトウェア環境のコンテナを起動・停止させる役割を担う。これらの3要素をシームレスに連携させることで、大規模可視化システム上に配備される、グラフィックライブラリ、可視化ソフトウェア等のソフトウェアスタック、すなわち、可視化環境を研究者の要望に応じて高速に切り替える。

本研究では、提案する可視化ソフトウェアスイッチングモジュールの評価のために、タイルドディスプレイ上での可視化環境を構築可能な SAGE2 および ParaView の2システムのスイッチング時間を計測した。図4に評価環境を示す。評価環境は、4ノード(PC)から構成されるタイルドディスプレイ上に、本研究で実装したスイッチングモジュールを配備した。各PCは、プロセッサとして Intel Core i3-4150(3.5GHz)、主記憶として 8GB を搭載した CentOS 7.3 とした。本スイッチングモジュールの中核となる技術には、Docker 1.12.6 を採用し、SAGE2、Paraview にはそれぞれバージョン 5.1.2、2.0.0 を採用した。

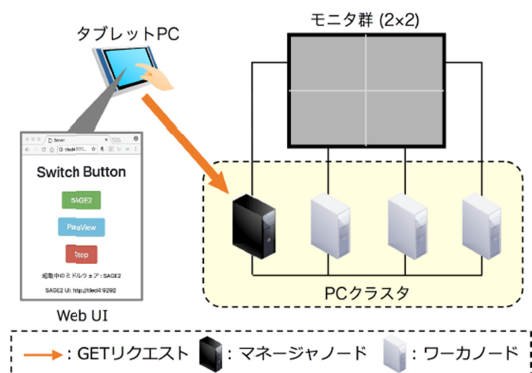


図4 スイッチングモジュール評価環境。

上述した評価環境上で(a)SAGE2 可視化環境から ParaView 可視化環境、(b)ParaView 可視化環境から SAGE2 可視化環境へのスイッチング時間を計測した。その結果、(a)約 13.5 秒、(b)約 17.5 秒程度のスイッチング時間が観測され、さらなる改善の余地はあるものの、VaaS 環境を運用管理する上で実用上問題ないことを確認した。

### (3) ユーザインタフェース

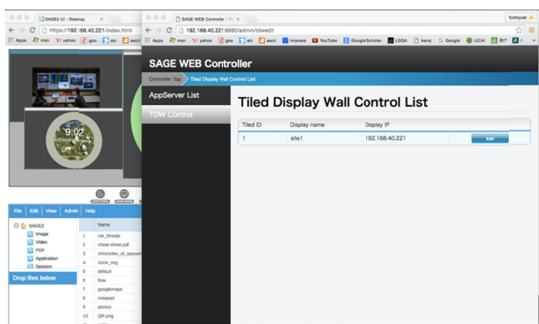


図5 開発したユーザインタフェース。

図5に開発したユーザインタフェースを示す。本ユーザインタフェースについては、情報通信研究機構との連携により開発した。当該ユーザインタフェースを通じて、研究者は可視化データを表示したい任意のタイルドディスプレイ、およびアプリケーションを選択可能としている。タイルドディスプレイおよびアプリケーションが選択されると、4.(1)で記載したネットワークコネクション制御・管理技術による耐故障性を有する可視化環境が実現可能である。

### 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3件)

Susumu Date, Hirotake Abe, Dashdavaa Khureltulga, Keichi Takahashi, Yoshiyuki Kido, Yasuhiro Watashiba, Pongsakorn U-chupala, Kohei Ichikawa, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai, Shinji Shimojo, “SDN-accelerated HPC Infrastructure for Scientific Research”, International Journal of Information Technology, Volume 22, Number 01, 2016.

Yoshiyuki Kido, Kohei Ichikawa, Susumu Date, Yasuhiro Watashiba, Hirotake Abe, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai, Shinji Shimojo, “SAGE-based Tiled Display Wall Enhanced with Dynamic Routing Functionality Triggered by User Interaction”, Future Generation Computer Systems (FGCS), Vol.56, pp.303-314, Mar. 2016.

(DOI:10.1016/j.future.2015.09.033)

Masaharu Shimizu, Yoshiyuki Kido, Susumu Date, Shinji Shimojo, “Simulation Analysis of a Dynamic Reallocation-based Routing Functionality for SAGE Application”, The Review of Socionetwork Strategies, Vol.9, Issue 1, pp.1-18, Jun. 2015.

[DOI:10.1007/s12626-015-0051-6]

Ryoichi Jingai, Yoshiyuki Kido, Susumu Date, Shinji Shimojo, “A High Resolution Graph Viewer for Multi-monitor

Visualization Environment”, The Review of Socionetwork Strategies, Vol.9, Issue 1, pp.19-27, Jun. 2015.

[DOI:10.1007/s12626-015-0052-5]

[学会発表](計 8 件)

Kazuya Ishida, Yoshiyuki Kido, Susumu Date, Shinji Shimojo, “A Switching Mechanism of Visualization middleware and Application using Docker”, ISGC 2017 (International Symposium on Grids and Clouds 2017), Taipei, Taiwan, Mar. 2017. (poster)

Susumu Date, Yoshiyuki Kido, Khureltulga Dashdavaa, Keichi Takahashi, Yasuhiro Watashiba, Shinji Shimojo, “Toward Flexible Supercomputing and Visualization System”, M. M. Resch et al. (eds.), Sustained Simulation Performance 2015, Springer, Stuttgart, Germany, 2015.

[DOI:10.1007/978-3-319-20340-9\_7]

Susumu Date, Hirotake Abe, Khureltulga Dashdavaa, Keichi Takahashi, Yoshiyuki Kido, Yasuhiro Watashiba, Pongsakorn U-Chupala, Kohei Ichikawa, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai, Shinji Shimojo, “An Empirical Study of SDN-accelerated HPC Infrastructure for Scientific Research”, International Conference Research and Innovation (ICCCRI), Singapore, Oct. 2015.

[DOI:10.1109/ICCCRI.2015.13]

Arata Endo, Yoshiyuki Kido, Susumu Date, Yasuhiro Watashiba, Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura, Shinji Shimojo, “Improvement of Scalability in Sharing Visualization Contents for Heterogeneous Display Environments”, International Symposium on Grids & Clouds 2016 (ISGC2016), Taipei, Taiwan, Mar. 17, 2016.

[<http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/contribution.cgi?id=270/009>]

Arata Endo, Yoshiyuki Kido, Susumu Date, Yasuhiro Watashiba, Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura, Shinji Shimojo, “An implementation of SAGE Bridge for Sharing Visualized Contents on Multiple Tiled Display Wall Systems”, PRAGMA 29, Depok, Indonesia, 7-9, Oct. 2015. (poster)

Zoha Morsalin Uz, Yoshiyuki Kido, Susumu Date, Shinji Shimojo, “Research on Visualization Cloud for Scientific Research Collaboration by Leveraging Network-streamed Tiled Display Wall”, PRAGMA 28, Nara, Japan, 8-11, Apr. 2015 (poster)

東野秋二, 木戸善之, 安福健祐, 伊達進, 清川清, 下條真司, 竹村治雄, “大型可視化装置における可視化事業の事例について”, 大学ICT推進協議会2015年度年次大会 (AXIES2015), 名古屋, Dec. 2015.

Yoshiyuki Kido, Kohei Ichikawa, Susumu Date, Yasuhiro Watashiba, Hirotake Abe, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai, Haruo Takemura, Shinji Shimojo, “SAGE-based Tiled Display Wall Enhanced with Dynamic Routing Functionality Triggered by User Interaction”, INDIS2014, New Orleans, USA, Nov. 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下條 真司 (SHIMOJO, Shinji)  
大阪大学・サイバーメディアセンター・教授  
研究者番号: 00187478

(2) 研究分担者

伊達 進 (DATE, Susumu)  
大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授  
研究者番号: 20346175

(3) 研究協力者

木戸 善之 (KIDO, Yoshiyuki)  
大阪大学・サイバーメディアセンター・  
講師  
研究者番号：70506310