

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：35302
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2018～2022
課題番号：18K11355
研究課題名(和文) 低性能計算機を用いたゼロ・コンフィグレーション・タイルディスプレイの研究開発

研究課題名(英文) Development of Zero-Configuration Tiled Display System using Low-Performance Computing Resources

研究代表者
木戸 善之(KIDO, Yoshiyuki)

岡山理科大学・情報理工学部・教授

研究者番号：70506310
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では低性能計算機をもちいたタイルディスプレイミドルウェアの開発に取り組んだ。ゼロ・コンフィグレーションといういわばプラグアンドプレイとしてのミドルウェアまで至っていない実装は、フレーム画像の扱いについての問題点を解決し、タイルディスプレイミドルウェア実現に向けての一助となった。今後の課題としては、安定性や性能面、あるいはディスプレイノードのスケーラビリティについて挙げられる。しかしこれらは、OS仮想化技術による各機能のマイクロサービス化で性能面での解決はあり、安定性、スケーラビリティについても性能面から引き起こされる問題が含まれているため、ある程度の解決は見込まれている。

研究成果の学術的意義や社会的意義
様々な研究分野における重要なアウトプットとして可視化コンテンツが上げられる。可視化コンテンツは、人が理解をする上で、難しい研究課題の成果、あるいは問題点を明確にすることができる。こうした可視化コンテンツは、計算機性能の向上あるいはビッグデータなどに代表されるようなデータ量の爆発的増加において、解像度の高度化が進んでいる。タイルディスプレイは高解像度な可視化コンテンツを、単一のディスプレイでは実現できない大きさで表示することが可能である。しかしタイルディスプレイの導入は高コストで知られており、本研究課題の特筆すべき点は、低価格低性能計算機を用いたタイルディスプレイの実現である。

研究成果の概要(英文)：This research project focused on developing a tiled display middleware using low-performance computing devices. Although, in the implementation of the middleware, zero-configuration functionality has not yet reached a complete state. However, the implementation of the middleware addressed the issues related to handling frame images and provided valuable insights for realizing tiled display middleware. Some remaining challenges for future work include stability, performance, and scalability of display nodes. The idea is to address these challenges through microservice-based modularization of different functionalities enabled by OS virtualization technologies. Simultaneously, by addressing the performance-related challenges, we anticipate that a certain level of resolution can be achieved for stability and scalability issues, as they are often interconnected with performance-related problems. All these challenges remain committed to our future endeavors.

研究分野：情報科学，高性能計算

キーワード：タイルディスプレイ 可視化装置 パイプライン処理

1. 研究開始当初の背景

大規模可視化を実現する装置としてタイルディスプレイが挙げられるが、高解像度可視化装置の必要性は、災害時などにおける情報共有手段として期待されている。被災情報、避難経路などの情報共有手段として複数人が同時に情報を得ることができるタイルディスプレイは、一方で構築にかかる機器や設定の複雑性から一時的に組み立てることが難しい。

タイルディスプレイを構成する機器は、ディスプレイノードに高いメモリバンド幅性能やグラフィック表示能力が求められ、比較的高価な PC が必要としていた。一方で、Raspberry Pi などに代表されるシングルボードコンピュータは、PC と同等の性能でありながら、安価なコンピュータとして普及しつつある。シングルボードコンピュータの普及は、PC やワークステーションに置き換わることで消費電力や低コストなどが期待されている。

そこで本研究課題においては、安価でかつ設定が不要な一時的に構築するタイルディスプレイシステムの実現を目指し、3つの課題を設定している。[i]可視化装置構築時における OS 仮想化技術の広域マイグレーションの実現可能性の検討、[ii]シングルボードコンピュータを用いたタイルディスプレイシステムの検討、[iii]タイルディスプレイシステムを実装する上で複雑な設定を不要とするゼロ・コンフィグレーションの実現である。

2. 研究の目的

タイルディスプレイは高解像度画像もしくは映像を表示できる能力があり、かつディスプレイ数のスケーラビリティを確保した柔軟な可視化装置として、多くの制御用ミドルウェアが開発されている。図2はタイルディスプレイの例である。SAGE2 (Scalable Amplified Group Environment)[1]はタイルディスプレイを構成するためのミドルウェアの1つであり、ブラウザでタイルディスプレイを構成することによって、設定内容を軽減し、構築が簡易になったミドルウェアである。しかしながらディスプレイの解像度や周波数、枚数、位置、IP アドレスなどの設定が必要となり、構築するためにはネットワークおよびハードウェアの知識が必要となる。

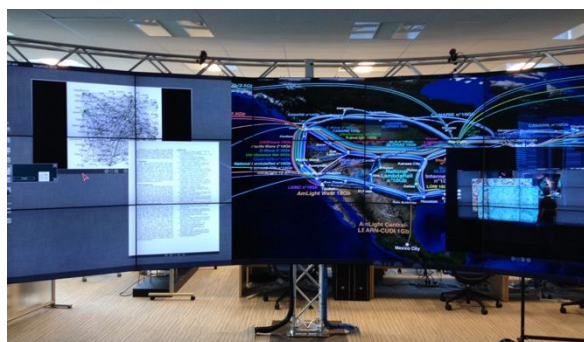


図2. タイルディスプレイ

そこで本研究課題では、機器を接続するだけでタイルディスプレイを構成する、ゼロ・コンフィグレーション・タイルディスプレイを目指し、仮想化技術をベースにしたタイルディスプレイ構成技術を開発する。仮想化技術は様々あり、計算機をエミュレーションする仮想マシンや、OS のシステムライブラリをホストマシンと共有することで、軽量化、高速化を図ったコンテナ型 OS 仮想化技術などがある。それらは、ホストマシン上にて独立した OS として稼働することができる。タイルディスプレイを構成するための可視化ミドルウェアをそれら仮想マシン、仮想 OS コンテナ上にインストールし、タイルディスプレイを自動的に構築するシステムを開発する。また、そうした仮想マシン、仮想 OS コンテナのディスクイメージを配信するためのマイグレーションシステムを提案する。災害時など一時的かつ速やかにタイルディスプレイを構成するためには、その場で稼働する必要最小限の機材をする必要があり、異機種のディスプレイノードであってもタイルディスプレイを構成できるシステムとして研究開発する。

また、タイルディスプレイを構成する機材が低性能であることを想定し、低性能でもタイルディスプレイを構成できるよう、小容量メモリでのレンダリング性能の向上にも取り組んだ。タイルディスプレイを構成する場合、ディスプレイノード間での同期が必要となる。その場合、画面イメージや仮想デスクトップイメージを共有する必要があるが、ディスプレイノード間でのイメージの交換などの通信が発生する。そのためディスプレイノードが増加すると、通信のオーバーヘッドが増加し、レンダリング性能に影響を及ぼす。一方で、レンダリング技術の中に、マルチバッファリングというものがある。マルチバッファリングはノード内の I/O オーバーヘッドを考慮し、画面フレームを分割しバッファリングすることで、表示遅延を和らげる技術であり、タイルディスプレイ構成ミドルウェアの共有イメージバッファに適用することで、低メモリの計算機でもタイルディスプレイ構成することが可能となる。本研究課題ではヘテロなディスプレイノード間におけるマルチバッファリング技術の開発を行った。

3. 研究の方法

本研究代表者は、NICT 委託研究「仮想分散データコンピューティング・データ流通技術の研究」の特任講師および分担者として従事していた。当該研究では、可視化装置へのマルチストリームデータ経路を Software Defined Networking 技術にて制御する研究に取り組んだ。その成果は後節、研究業績での[2], [9]を国際論文誌にて発表した。またマルチディスプレイ可視化装置におけるスケーラビリティの向上と可視化ミドルウェアの改良について[3], [10]にて発表した。本研究は、上記委託研究での成果を踏まえた上で、オープンソース化したソフトウェアや基盤技術を共有するものの、全く独立した観点で発展させる課題であり、上述した委託研究は本研究における先行研究として位置付ける。

その上で、既存のタイルドディスプレイミドルウェアの改善に着手した。しかしながら既存のタイルドディスプレイミドルウェアでは、カバーしきれない機能を本研究開発の目的として設定し、タイルドディスプレイミドルウェアの研究開発に取り組んだ。

まずタイルドディスプレイミドルウェアの性能評価を行い、オーバーヘッドとなりうるマスターノードからディスプレイノードへのフレーム画像転送に着目し、ネットワークの構成や、画像転送方法について取り組んだ。

次に、ディスプレイノードでの単体性能に着目、画像圧縮などのパイプライン処理について並列化を目指し、また OS 仮想化技術を使ったオーバーヘッドやボトルネック要因の排除について取り組んだ。

結果として、Raspberry Pi など省電力、低性能な計算機でも問題なく動作するタイルドディスプレイミドルウェアのプロトタイプとして作成し、Supercomputer Conference などでのデモ展示を行った。

4. 研究成果

研究成果としては、査読付き国際会議への投稿論文 5 編が挙げられる。[4]では、既存のタイルドディスプレイミドルウェアの調査研究および改良として、スクリーンシェア機能の実装について取り組んだ。具体的には SAGE2 と言われる最も普及しているタイルドディスプレイミドルウェアに対し、スクリーンシェア機能について実装し、その過程において、フレーム画像転送やフレーム圧縮に問題があることを発見した。

[1][6][9]においては、先行研究で発見したフレーム画像転送や、フレーム圧縮について並列化あるいは分散化することにより、フレームレート低下を防止する手法について提案した。分散化とは具体的にはマスターノードとディスプレイノードの間に中継ノードをもたせることによって、フレーム転送パイプライン処理をより効率化させることを可能にした。

また[2][3][5][7][8]では、タイルドディスプレイでのアプリケーションや、低レイヤーにおけるネットワーク転送での問題点など派生した問題点について提案を行った。

最後に、本研究の残された課題について述べる。本研究では、低性能計算機を用いたタイルドディスプレイの実現について様々な角度から取り組んだが、未だプロトタイプベースであり、プロダクトレベルの品質には至っていない。具体的には、安定性や性能面、あるいはディスプレイノードのスケーラビリティについて問題が生じている。これらは、OS 仮想化技術による各機能のマイクロサービス化で性能面での解決は見込まれている。と同時に、性能面での課題がクリアできれば、安定性、スケーラビリティについても性能面から引き起こされる問題が含まれているため、ある程度の解決は見込まれている。今後もこれらの課題について取り組みたいと考えている。

[1]. Y. Takahata, Y. Kido, S. Shimojo, "Design and Implementation of Relay Nodes in SBC Multi-Display System," Future of Information and Communication Conference (FICC 2022), Mar. 2022 .

[2]. Y. Kido, J. S. A. Zarraonandia, S. Date, S. Shimojo, "A Development of Real-time Failover Inter-domain Routing Framework using Software-defined Networking," Advances in Information and Communication, Proceedings the 2021 Future of Information and Communications Conference (FICC2021), Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1363, pp.369-387, Vancouver, Canada (Online), Apr. 2021.

[3]. Y. Kido, N. P. Tou, N. Yanai, S. Shimojo, "sD&D: Design and Implementation of Cybersecurity Educational Game with Highly Extensible Functionality," Advances in Information and Communication, Proceedings the 2020 Future of Information and Communications Conference (FICC2020), Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1129, pp.857-873, San Francisco, U.S., Mar. 2020 .

- [4]. K. Ishida, D. Asao, A. Endo, Y. Kido, S. Date, S. Shimojo, "High-Resolution Streaming Functionality in SAGE2 Screen Sharing," Advances in Information and Communication, Proceedings of the 2019 Future of Information and Communications Conference (FICC 2019), Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 70, pp.384-399, San Francisco, U.S., Mar. 2019.
- [5]. Y. Kido, "Novel Mechanisms to Support Scientific Visualization on Multi-Display," Supercomputing Conference 2019 (SC19), Osaka University Booth, Denver, CO, US, 18-21, Nov. 2019.
- [6]. Y. Kido, "Development of High-Resolution Screen Sharing Functionality on Tiled Display Wall," Asia Pacific Society for Computing and Information Technology 2019 Annual Meeting (APSCIT 2019), Hokkaido, Japan, 26-29, Jul. 2019. (Invited Talk)
- [7]. Y. Kido, "Novel Mechanisms to Support Scientific Visualization on TDW," Supercomputing Conference 2018 (SC18), Osaka University Booth, Dallas, TX, US, 12-15, Nov. 2018.
- [8]. 瀧崎尚, 木戸善之, 増田欣之, 都島良久, 山本松樹, 下條真司, “スマートビルのためのオントロジーを用いたアクセス制御フレームワークの提案,” IPSJ DICOMO 2022 (DICOMO2022), Online, Dec. 2022 年 7 月
- [9]. 木戸善之, 石田和也, 伊達進, 下條真司, “低性能計算機を用いたマルチディスプレイシステムの試作,” IPSJ Computer System Symposium 2019 (ComSys2019), 大阪, Dec. 2019 年 12 月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yuga Takahata, Yoshiyuki Kido, Shinji Shimojo	4. 巻 438
2. 論文標題 Design and Implementation of Relay Nodes in SBC Multi-display System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Information and Communication, Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 512-525
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-98012-2_37	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yoshiyuki Kido, Juan Sebastian Aguirre Zarraonandia, Susumu Date, Shinji Shimojo	4. 巻 1363
2. 論文標題 A Development of Real-Time Failover Inter-domain Routing Framework Using Software-Defined Networking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Information and Communication, Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 369-387
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-73100-7_27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kido Yoshiyuki, Zarraonandia Juan Sebastian Aguirre, Date Susumu, Shimojo Shinji	4. 巻 1363
2. 論文標題 A Development of Real-Time Failover Inter-domain Routing Framework Using Software-Defined Networking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 369 ~ 387
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-73100-7_27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Yoshiyuki Kido, Nelson Pinto Tou, Naoto Yanai, Shinji Shimojo	4. 巻 1129
2. 論文標題 sD&D: Design and Implementation of Cybersecurity Educational Game with Highly Extensible Functionality	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Information and Communication. FICC 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 857-873
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-39445-5_62	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuya Ishida, Daiki Asao, Arata Endo, Yoshiyuki Kido, Susumu Date, Shinji Shimojo	4. 巻 70
2. 論文標題 High-Resolution Streaming Functionality in SAGE2 Screen Sharing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 384-399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-12385-7_30	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Yoshiyuki Kido, Juan Sebastian Aguirre Zarraonandia, Susumu Date, Shinji Shimojo
2. 発表標題 Real-time Failover Interdomain Routing Framework using SDN
3. 学会等名 US-Japan Workshop on Programmable Networking (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木戸善之, 石田和也, 伊達進, 下條真司
2. 発表標題 低性能計算機を用いたマルチディスプレイシステムの試作
3. 学会等名 IPSI Computer System Symposium 2019 (ComSys2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiyuki Kido
2. 発表標題 Development of High-Resolution Screen Sharing Functionality on Tiled Display Wall
3. 学会等名 The Asia Pacific Society for Computing and Information Technology (APSCIT) 2019 Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木戸 善之
2. 発表標題 ダイナミックセキュアステージングを用いた医療データ解析環境
3. 学会等名 Small-workshop on Communications between Academia and Industry for Security (SCAIS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 祐希, 渡場 康弘, 伊達 進, 木戸 善之, 下條 真司
2. 発表標題 広域連携型災害管理アプリケーション基盤を提供する資源管理システムの検討
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会 第16回ディベンダブルシステムワークショップ (DSW2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡場 康弘
2. 発表標題 Software-Defined IT インフラストラクチャにおけるオーケストレーションに向けた資源管理システム
3. 学会等名 JHPCN : 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第10回 シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>VisCloud https://viscloud.ise.ous.ac.jp</p> <p>High-Resolution SAGE2 Streamer https://github.com/shimojo-lab/sage2_high-resolution_streamer</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------