

令和 元年 6 月 21 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00178

研究課題名(和文) VR協働可視化環境の構築とその高効率化に関する研究

研究課題名(英文) Research on Construction of Collaborative Visualization Environment Based on Virtual Reality Technology and Its Efficiency Improvement

研究代表者

川原 慎太郎 (KAWAHARA, Shintaro)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球情報基盤センター・技術研究員

研究者番号：60415982

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)：バーチャルリアリティ(VR)技術を使った、異なるVR機器間での協働可視化環境の構築を目指し、CAVE装置用ソフトウェア開発のためのC++ライブラリCAVELibを用いて記述されたソースコードをほぼ変更することなく、HMD用実行ファイルを作成することができるC++ライブラリを開発した。本開発により、CAVEおよび現在主要なHMDの間でソフトウェアのソースコードの共通化に成功し、協働可視化環境構築のための基盤整備を行うことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究期間中に開発したHMD用CAVELib互換ライブラリCLCLは、CAVE - HMD間でのソフトウェア開発効率の向上による今後の協働可視化環境構築への寄与だけでなく、ソースコードの公開により、現在CAVEを運用している多くの研究開発機関において、CAVE用に開発したソフトウェア資産をHMDで再活用する際の利用が期待されている。また、CAVEが特殊な機器であるために、そこでの研究成果を一般に広く知らせることが困難であったが、CAVE用ソフトウェアをHMDでも動作可能としたことにより、教育、アウトリーチ活動等での利用も期待できるものとなった。

研究成果の概要(英文)：In order to construct a collaborative visualization environment, which based on the virtual reality technology, between different VR devices, a C++ library that is able to build a HMD executable binary file without modification to the source code written using CAVELib that is a C++ library to develop application software for CAVE devices was developed. I succeeded in commonizing the source code between CAVE and the currently major HMDs through this development, and were able to establish an infrastructure for the collaborative visualization environment.

研究分野：データ可視化

キーワード：可視化 バーチャルリアリティ ヘッドマウントディスプレイ CAVE

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

1. 研究開始当初の背景

没入型バーチャリアリティ (VR) 装置は、対話性を伴った立体映像を提示することで三次元データ内に含まれる様々な空間構造の直感的な把握を容易なものとする。このため、有効なデータ解析手段の一つとして知られており、CAVE 型 VR 装置 (CAVE) はその代表的なものである。CAVE の登場は 1990 年代前半と比較的古いが、没入感や対話的操作性の面で現在でも非常に高品質な VR 環境を構築することのできる装置であると言える。しかしながら、広い設置スペースを必要とする、非常に高額な導入・維持費用等の理由により、CAVE は国内外の研究開発の現場でそれほど広くは普及していない。研究協力者 (陰山) が開発した CAVE 用汎用可視化ソフトウェア VFIVE は、国内の大学・研究機関が運用する CAVE 装置においても活用されているが、基盤となるハードウェアである CAVE が律速となり、今後これ以上の普及は期待できない。そこで、近年発展著しい安価なヘッドマウントディスプレイ (HMD) に着目し、それらに対する VFIVE の移植を開始した。

2. 研究の目的

ネットワーク経由での共同研究が日常化している現在、遠隔地間で同一の可視化環境を共有する「協働可視化」はデータ解析を効率的に進めるための手段として注目を集めており、その実現には先進的な VR 技術の活用が有効である。高品質な VR 環境を提供する機器として定評のある CAVE は新規導入のハードルが非常に高いのに対し、近年登場した HMD は、安価でありながら CAVE に匹敵するほど高品質な VR 環境を構築することができるが、立体映像を同時に観察できるのは一人だけという問題もある。そこで本研究では、HMD - HMD 間、HMD CAVE 間、CAVE - CAVE 間等、異なる種類の VR 機器間を結ぶ遠隔協働可視化環境を構築し、その有効性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) HMD への VFIVE の移植に際し、CAVE 用と HMD 用でソースコードを共通化できる仕組みを構築することにより開発効率の向上を図る。
- (2) VFIVE に対して遠隔地間での協働可視化環境を実現するための機能として、インターネット接続されたサーバを介した可視化パラメータの共有機能を実装する。更に、協働環境下での可視化作業の効率を向上させるための方法の検討およびその実装を行う。最後に、実データ (3次元シミュレーションデータ) を用いた遠隔協働可視化実験を行い、その有効性を評価する。

4. 研究成果

VFIVE のソースコードは、CAVE 用ソフトウェアを開発するための商用 C++ライブラリである CAVELib を用いて記述されている。VFIVE を Oculus 社製 HMD (Development Kit 2) で動作させること自体については、これまでに実施した研究においても既に成功しているが、元のソースコードに含まれる CAVELib で記述されたすべての箇所を、GLFW などの OpenGL フレームワークと Oculus SDK (Oculus 社製 HMD 用ソフトウェア開発のための C++ライブラリ) 等を用いて逐次書き換えるという原始的な手法での移植であったため、その作業はソースコード全般に渡る煩雑なものであった。更に、移植作業後のソースコードは特定の HMD 機器専用となってしまったため、ソースコードのメンテナンス性も低く、VFIVE 以外の CAVELib プログラムを移植する際には都度同様の書き換え作業が必要になるという非効率なものであった。この問題を解決するため、CAVELib で用いられているものと同名の関数で、その内部を OpenGL フレームワークや Oculus SDK を用いて再実装した互換ライブラリ CLCL (CAVELib Compatible Library for HMD) を開発した。CAVELib プログラムでは、OpenGL 等に関する初期化や、描画等フレーム毎に実行される処理をコールバック関数として登録し、それらはメインループ中にバックグラウンド実行される。CLCL では、マルチスレッド処理にてこれを模倣する構成とした (図 1)。また、HMD 用 SDK として、Oculus SDK の代わりに OpenVR を用いたバージョンの CLCL についても併せて開発した。OpenVR 版 CLCL を用いることにより、Oculus 社製 HMD だけでなく、HTC VIVE や Windows Mixed Reality ヘッドセットでも動作する実行ファイルを、元の CAVELib プログラムをほぼ変更することなく生成することができるようになった。

VFIVE のオリジナルソースコードに対して CLCL (Oculus SDK 版) を適用した結果、Oculus SDK 版、OpenVR 版共に元のソースコードにほぼ変更なく、ビルドした実行ファイルが Oculus Rift、VIVE、WindowsMR の各機器で動作することを確認した。6 自由度 (6DoF) の手持ちコントローラによるメニューパネルからの可視化機能の選択や、可視化パラメータのインタラクティブな変

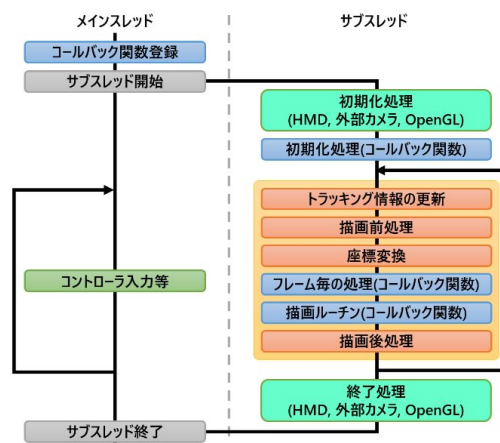


図 1 CLCL の処理の流れ

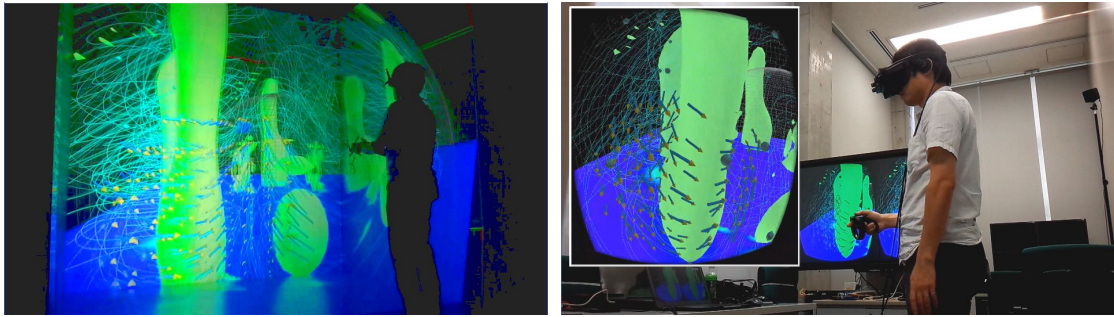


図2 CAVE (左)、HMD (右)でのVFIVEの実行の様子

更がVFIVEの特徴であるが、HMDでも6DoFコントローラを用いた操作がCAVE同様にできることを確認した。CAVEおよびHMD(Rift)上でのVFIVEの動作の様子を図2に示す。

また、CAVELibには無いCLCL独自の機能として、HMD前面に装着したステレオカメラ (Stereolabs社製ZED mini、図3)による複合現実(MR)機能の初期実装を完了した。本カメラの特徴として、取得した視差画像からデプスマップを算出する機能があるが、これと3-D CG描画時のデプスマップを用いて実映像と3-D CGのオクルージョン表現を可能とした。これは、機器装着時に実空間の視覚的情報が得られないという密閉型HMD特有の問題を解決することを目的としたものである。カメラの接続状態のチェックや、カメラ機能の有効/無効の切り替えについては、CLCLで再実装したCAVELib関数の内部に組み込む形とした。このため、CLCLを用いてCAVE用ソフトウェアをHMDに移植する際、本機能についてプログラマーが特段意識する必要は無い。図4は本機能を有効にした際のVFIVEのスクリーンキャプチャである。オクルージョン表現により、実空間映像とVFIVEで描画された3-D CGとの前後関係が正しく示されていることがわかる。VFIVEの他、他機関で開発されたものも含む複数のCAVE用ソフトウェアに対して本ライブラリを適用し、ソースコードへの軽微な変更のみでHMDでも概ね動作することを確認し、その有効性を確認した。



図3 外部ステレオカメラを装着したHMD

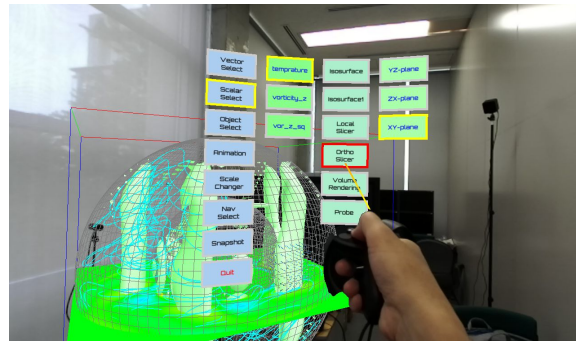


図4 VFIVEでのMR表示

本研究期間において、機器間通信部の実装には着手したものの、当初予定していた異なるVR機器間を繋ぐ協働可視化環境の構築には至らなかった。しかしながら、CLCLの開発によりCAVEおよび現在主要なHMDの間でソフトウェアのソースコードの共通化に成功したことで、協働可視化環境構築のための基盤整備を行うことができた。CLCLについては、GitHubにてソースコードを公開した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Shintaro Kawahara, Akira Kageyama, Development of CAVELib Compatible Library for HMD-type VR Devices, Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering, 査読有, Vol.6, Issue 1, 2019, pp.234 - 248
DOI: 10.15748/jasse.6.234

川原 慎太郎, HMD用CAVELib互換ライブラリの開発 ~ポータブルCAVEシステムとしてのHMDの活用~, 計算工学, 査読無, Vol.23, No.3, 2018, pp.3770 - 3773

川原 慎太郎, 陰山 聡, HMD型VR装置を用いたインタラクティブ可視化, 可視化情報学会誌, 査読無, 37巻, 146号, 2017, pp.122 - 127
DOI: 10.3154/jvs.37.146_14

〔学会発表〕(計18件)

川原 慎太郎, 陰山 聡, ヘッドマウントディスプレイ用CAVELib互換ライブラリの開発,

第 32 回数値流体力学シンポジウム、2018

川原 慎太郎、ヘッドマウントディスプレイ用 CAVELib 互換ライブラリ CLCL の開発とその適用、「新生」第 12 回金沢コンピュータグラフィックス談話会、2018 [招待講演]

川原 慎太郎、ヘッドマウントディスプレイ用 CAVELib 互換ライブラリ CLCL の開発、先進的可視化デバイスを用いた可視化情報の研究会、2018

川原 慎太郎、HMD 用 CAVELib 互換ライブラリの開発 ~CAVE 用プログラムを HMD で動かす~、第 84 回 CG・可視化研究会(CAVE 研究会)、2018 [招待講演]

Shintaro Kawahara、Development of CAVELib Compatible Library for HMD-type VR Systems、The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology(JSST2018)、2018

川原 慎太郎、地球環境データの可視化とその効果的な伝達方法、第 46 回可視化情報シンポジウム、2018

川原 慎太郎、HMD 型 VR 装置用 CAVELib 互換ライブラリの開発、第 16 回埼玉工業大学若手研究フォーラム、2018

川原 慎太郎、HMD 型 VR 装置用 CAVELib 互換ライブラリの開発、第 83 回 CG・可視化研究会(CAVE 研究会)、2018 [招待講演]

Shintaro Kawahara、CAVELibWrapper: Development of a CAVELib Compatible Library for HMD-type VR Systems、日本地球惑星科学連合 2018 年大会(JpGU2018)、2018

川原 慎太郎、HMD 型 VR 装置用 CAVELib ラッパーライブラリの開発、先進的描画装置を用いた可視化情報の研究会、2017

川原 慎太郎、杉山 徹、バーチャルリアリティ装置を用いた都市熱環境シミュレーションの可視化、第 31 回数値流体力学シンポジウム、2017

川原 慎太郎、地球科学シミュレーションにおけるデータ可視化と効果的な伝達方法、日本機械学会 計算力学部門 第 2 回設計情報駆動研究会、2017 [招待講演]

川原 慎太郎、バーチャルリアリティ装置を用いた MM21 地区熱環境シミュレーションのインタラクティブ可視化、地球環境未来都市研究会・エコロジーデザイン研究部会、2017

川原 慎太郎、ヘッドマウントディスプレイを用いたインタラクティブデータ可視化、電子情報通信学会北陸支部講演会、2017 [招待講演]

川原 慎太郎、ビデオスルーHMD を用いたデータ可視化の高度化、先進的描画技術を用いた可視化表現法の研究会、2017

川原 慎太郎、CAVE 型 VR 装置用可視化プログラム VFIVE の Oculus Rift への移植、第 75 回 CG・可視化研究会(CAVE 研究会)、2016

川原 慎太郎、陰山 聡、ビデオスルーHMD を用いたデータ可視化、第 44 回可視化情報シンポジウム、2016

川原 慎太郎、陰山 聡、ビデオスルーHMD を用いたデータ可視化の試み、第 21 回計算工学講演会、2016

[その他]

CLCL: CAVELib Compatible Library for HMD (開発したソフトウェアの公開ページ)

<https://github.com/kawaharas/CLCL>

6. 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名: 陰山 聡

ローマ字氏名:(KAGEYAMA, akira)

所属研究機関名: 神戸大学

部局名: システム情報学研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 20260052

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。