

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：21201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12123

研究課題名(和文) 実用的単眼プロジェクター型・多視点3D球体ディスプレイの開発

研究課題名(英文) Multi-view 3D spherical display based on monocular projector and fish-eye lens

研究代表者

PRIMA・OKY・DICKY (Prima, Oky Dicky Ardiansyah)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・教授

研究者番号：20344624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、2つの視点で立体表示可能な3D球体ディスプレイを実用レベルかつ安価に提供できることを目指している。まず、単眼3Dプロジェクターと魚眼レンズとの組み合わせた映像投影方式のもとに、魚眼レンズモデルと球体投影モデル(ランベルト正積方位図法)との総合変換式を実装した。次に、球体ディスプレイから見た3D映像の知覚印象について、ユーザーの正しい視点方向に基づく3Dコンテンツの表示とユーザー好みの視点方向に基づく3Dコンテンツの表示による実験を行った。その結果、グラウンド(床)がない状態で置かれたコンテンツでは、ユーザーの好む視点方向に最も知覚印象が高いことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、3Dコンテンツの普及が進み、それらを表示するための機器も多様化している。今後、3Dゲームだけでなく、メタバースコンテンツも3D球体ディスプレイで表示できるようになれば、3Dコンテンツを活用したワークフローに大いに役立つと思われる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to provide a 3D spherical display capable of displaying 3D images from two viewpoints at a practical level and at a low cost. First, based on a video projection method involving a monocular 3D projector combined with a fisheye lens, we implemented a generic conversion equation between the fisheye lens model and the sphere projection model (Lambert azimuthal equal-area projection). Next, we conducted experiments on the perceived impression of 3D images viewed from a spherical display by displaying 3D content based on the user's correct viewpoint direction and 3D content based on the user's preferred viewpoint direction. The results showed that the content placed with no ground (floor) gave the highest perceived impression in the user's preferred viewpoint direction.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：球体ディスプレイ 魚眼レンズ 3D 多視点映像 投影返還

1. 研究開始当初の背景

球体ディスプレイでは、地球や他の惑星などの表層情報データだけでなく、球体内部に立体オブジェクトを表示することで、より立体感のある映像を提供できる。このようなディスプレイは非平面ディスプレイの中で最も有用な表示媒体として期待されており、現在も活発に開発が行われている。

球体ディスプレイの実現には、複数のディスプレイパネルの組み合わせる方法や高速回転型 LED フレーム、プロジェクターを利用したプロジェクションマッピングなどがあるが、ディスプレイとして考えた場合、プロジェクターによるものが最も理想的である。例えば、CoGlobe は 2 つの視点で立体表示 (アクティブシャッター方式) が可能であり、現在最も先進的な球体ディスプレイだといえる。この多視点立体表示には DLP 方式の 3D プロジェクターが必要不可欠で、球体全面に詳細に映像を投影するために、4 台のプロジェクターが用いられている。

CoGlobe のようなディスプレイを一般ユーザー向けに製品化するためには、以下のような課題がある。

- **プロジェクター間の映像信号の同期化**: 複数プロジェクターの映像信号を同期させるためには、専用の同期信号制御ハードウェアと高性能 GPU (NVIDIA Quadro Mosaic™ 相当の技術) が必要で、球体ディスプレイを動かすコンピュータのスペックが高価になる傾向にある。
- **複雑な映像キャリブレーション**: 球面上に複数のプロジェクター映像を合成するためには、多数の基準点を設け、それらの基準点をもとに高次多項式による映像キャリブレーションを二段階で行う必要がある。特に 3D 映像の表示では、不適切なキャリブレーションによって映像が二重に表示されることがある。
- **ユーザー視点位置とその姿勢の推定**: ユーザーの視点と姿勢に合わせた 3D 映像をレンダリングするためには、球体ディスプレイの中心に対するユーザー視点位置を検知する高精度のポジショントラッキングセンサーが必要である。

本研究では、これらの課題を解決できれば、CoGlobe を実用レベルの球体ディスプレイとしてさらに発展させ、一般ユーザーに安価に提供できると考えている。

2. 研究の目的

どの角度からも映像を視認できる 3D 球体ディスプレイを実用化するためには、3D 映像信号の同期化と 3D 映像のキャリブレーションの向上、そしてユーザー視点位置を検知するポジショントラッキングの簡易化などが求められる。本研究では、まず単眼 3D プロジェクターと魚眼レンズを用いて 3D 球体ディスプレイを構築し、映像の同期化を不要とし、魚眼レンズモデルとランベルト正積方位図法との関係を求めることで映像キャリブレーションを無くすることができる。最後に全方位カメラでユーザーの顔特徴点を検出してポジショントラッキングを実装し、パースペクティブ補正と多視点レンダリングを実現する。

3. 研究の方法

本研究では、前述の課題を最も効果的な方法で解決し、2 視点で立体表示可能な 3D 球体ディスプレイを実用レベルかつ安価に提供できることを目指す。具体的な方法としては、以下のようなものを提案する。

- 映像信号の同期化の問題に対処するために、単眼 3D プロジェクターと魚眼レンズとの組み合わせによる映像投影方式を採用する。
- 魚眼レンズモデルと球体投影モデル（ランベルト正積方位図法）との総合変換式を求めることで、その変換処理のみで歪みなく映像を投影する。
- 球体ディスプレイの頂部に全方位カメラを設置し、当該カメラを用いてユーザーの顔特徴点を検出して、PnP（Perspective n-Point）問題を解くことにより、球体の中心に対する頭部の位置と姿勢を推定する。

4．研究成果

単眼 3D プロジェクターと魚眼レンズとの組み合わせた映像投影方式をもとに、魚眼レンズモデルと球体投影モデル（ランベルト正積方位図法）との総合変換式を実装した。図 1 は、プロジェクター映像（全球映像）を一旦メルカトル横図法の映像に変換し、魚眼レンズに通じてランベルト正積方位図法の映像を球体表面に投影した様子である。

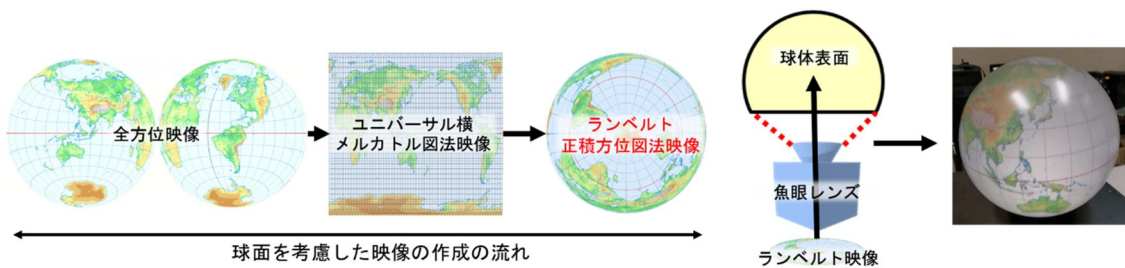


図 1 開発した球体ディスプレイの映像投影の仕組み

図 2 に球体ディスプレイの設計図と実際に試作したものを示す。本研究では、直径 25cm、35cm、45cm、80cm の球体ディスプレイを製作し、それぞれのディスプレイから見える 3D 映像の知覚印象を評価した。評価実験においては、ユーザーの視点方向を計測するトラッカーに基づく 3D コンテンツの表示とユーザーの好みの視点方向に基づく 3D コンテンツの表示による実験を行った。その結果、グラウンド（床）が配置されたコンテンツに対して両方の表示方法に対する知覚印象に差が認められなかったが、グラウンドがない状態で置かれたコンテンツでは、ユーザーの好む視点方向に最も知覚印象が高いことが分かった。

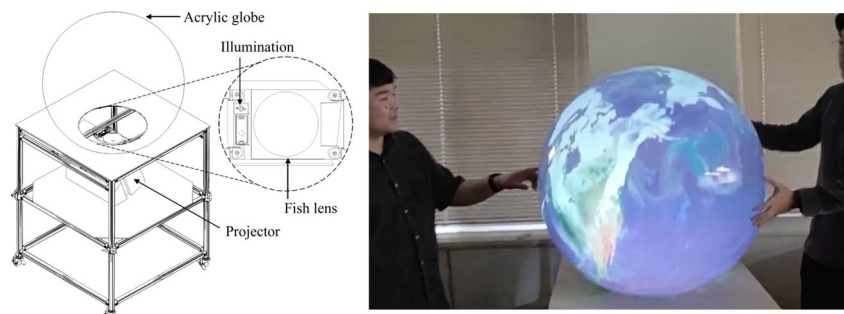


図 2 開発した球体ディスプレイの設計図と試作機

3D 映像を投影する場合、視聴者の視点から見える映像として半球の視点映像をレンダリングした後、ランベルト正積方位図法の映像を生成する。図 3 は、2 視点を投影するためのソフトウェアである。本ソフトウェアは、Unity 3D 上で開発されており、様々な OS とグラフィックスアクセラータに対応している。

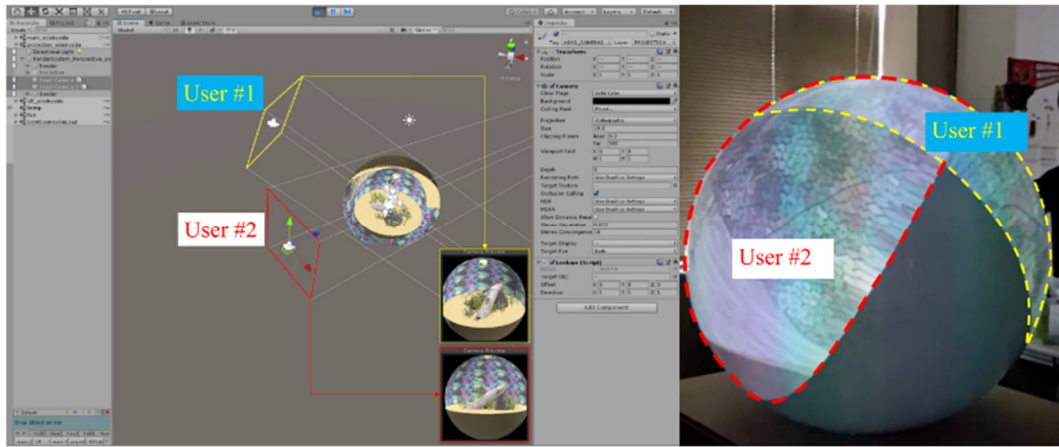


図3 開発した多視点映像生成ソフトウェア

最後に研究開発当初は、ポジショントラッキング(ユーザー視点のトラッキング)に可視カメラを使用する予定であったが、実験を行った結果、安価なRGB-Dカメラ(Microsoft Azure Kinect)の方がポジショントラッキングの精度が高いことが分かった。本研究の成果は、「きたかみ・かねがさきテクノメッセ」や「いわてまるごと科学・情報館 in 滝沢」で体験型デモンストレーションを行い、今後の球体ディスプレイの展開に大いに活用したいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 K. Kato and O. D. A. Prima	4. 巻 13 (1 & 2)
2. 論文標題 3D Gaze on Stationary and Moving Visual Targets in Mixed Reality Environments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal on Advances in Life Sciences	6. 最初と最後の頁 151-161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Tanaka, O. D. A. Prima, K. Hotta, K. Ogura, K. Matsuda, and S. Yuki	4. 巻 14 (1&2)
2. 論文標題 Development of a VR Simulator for Speed Sprayer Operation Training	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal on Advances in Software	6. 最初と最後の頁 104-113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 吉田直斗, プリマ オキ ディッキ	4. 巻 46(10)
2. 論文標題 3D多面体ディスプレイの開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 映情学技報	6. 最初と最後の頁 181-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 黒澤卓持, プリマオキディッキ	4. 巻 46(10)
2. 論文標題 3D球体ディスプレイのためのトラッキングセンサーの開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 映情学技報	6. 最初と最後の頁 185-188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 O.D.A. Prima, K. Hotta, R. Takahashi, and H. Ito	4. 巻 13 (3 & 4)
2. 論文標題 A Pointing Device for 3D Interactive Spherical Displays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal on Advances in Software	6. 最初と最後の頁 284 - 293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 黒澤卓持, プリマオキディッキ
2. 発表標題 3D球体ディスプレイのためのトラッキングセンサーの開発
3. 学会等名 映情学技報
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田直斗, プリマ オキ ディッキ
2. 発表標題 3D多面体ディスプレイの開発
3. 学会等名 映情学技報
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Takahashi, K. Hotta, O.D.A. Prima, and H. Ito
2. 発表標題 A Perspective-Corrected Stylus Pen for 3D Interaction
3. 学会等名 ACHI 2020 : The Thirteenth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

SpheriCul: A New Perspective on 3D Displays
<https://www.sphericul.com/>

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
研究分担者	角 薫 (Sumi Kaoru) (20332752)	公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授 (20103)	

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
---------	---------