1Y-05

再帰性反射型コーナーリフレクタアレイと凹凸形状スクリーンを用いた胸像立体空中像のライブ表示

矢田　捷真†　小池　崇文†　大西　康司‡

†法政大学情報科学部　　‡有限会社オプトセラミックス

1. はじめに

未来を題材にした映画では，人物の立体像を裸眼で観察できる立体ディスプレイが描かれている．しかし，裸眼式の既存手法は胸像サイズの立体像の表示には向いていない．そこで小池らは再帰性反射型コーナーリフレクタアレイ（以下，RMA）を提案した[1]．RMA が表示する空中像は，デバイスからの飛び出し距離が長く，輝度や解像度が低下しない．この光学デバイスと立体映像技術を組み合わせることで，胸像サイズの立体空中像でも単純な光学系の設計で表示を行える．

本研究では，実時間で撮影した人の胸像を，凹凸形状スクリーンに投影し，RMA で反射することで，立体空中像を表示するシステムを提案する．加えて，提案システム下で，手動補正するツールを提案する．

2. 関連研究

裸眼立体ディスプレイを実現する手法は，多数提案されている[2-4]が，胸像サイズの立体像を表示し，広範囲の観察を可能にするには，機材の大型化と複雑化が発生し，裸眼三次元ディスプレイの製作コストが高くなる．

胸像サイズ立体像の表示手法として，再帰性反射を用いた空中像に注目する．再帰性反射とは，入射光が入射方向と逆方向に反射することであり，単純な光学系で空中像を表示する．RMA は空中像を一枚のミラーアレイで表示する．そのため，胸像サイズの空中像を表示する場合でも，サイズに合わせたミラーアレイの製作のみで表示でき，デバイスの製作コストを抑えられる．

3. 提案システム

本研究では，実時間での胸像立体空中像を表示するシステムを提案する．実時間で対象の胸像を撮影し，幾何補正を行う．補正した映像を凹凸形状スクリーンに投影し，RMA で反射することで立体空中像を表示する．

また，幾何補正では，本システム用に開発した，手動補正ツールを用いる．

3.1. RMA

RMA には短冊状にカットしたガラスプレートが配置されている．図 1 のように光源からの光を縦方向には鏡面反射し，横方向には再帰性反射をする．この光学特性から，反射対象の位置と異なる位置に空中像を表示できる．

また，RMA は空中像の飛び出し距離が長く，表示された空中像の周辺に光学素子がない．そのため，RMA の表示を遮らず，センシング装置を配置することが容易であり，インタラクティブな空中像の表示ができる．

RMA では，反射の対象を立体物や立体ディスプレイにすることで，立体空中像を表示できる．本研究では凹凸形状スクリーンを用いて立体空中像を表示する．

Aerial Live 3D Imaging of Upper Body by Retrore-flective Mirror Array and 3D-shaped Screen
† Shoma Yada and Takafumi Koike
Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University
‡ Yasushi Onishi, Optceramics Ltd.

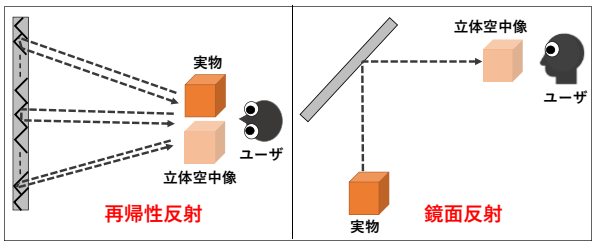


図 1　RMA の原理．（左）横方向の再帰性反射，（右）縦方向の鏡面反射．

3.2. 凹凸形状スクリーン

RMA で胸像立体空中像を表示する場合，胸像サイズの裸眼立体ディスプレイが必要だが，そのサイズの裸眼立体ディスプレイは大型化及び複雑化から製作は難しい．本研究では，表示対象を人体の胸像に限定することで，胸像の凹凸形状を持ったスクリーンを使用する．

図 2 に凹凸形状スクリーンを正面と，右斜め後方から撮影したものを載せる．凹凸形状スクリーンの材質には透明エポキシ樹脂とガラスフィラの混合物を使用し，裏面を RMA へ向けて配置することで，視差の方向が反転した胸像を表示する．視差の方向が反転した胸像を RMA で反射することで，視差の方向が正しい胸像立体空中像を表示し，顔が凹んでしまう問題を解決する．



図 2（左）前方からの凹凸形状スクリーン，（右）右斜め後方からの凹凸形状スクリーン．

3.3. 幾何補正

映像の幾何補正では，映像の投影対象であるスクリーンは凹凸形状を持つため，動的な形状変化はしない．一方で，撮影対象である胸像は人によって形状が異なり，また，ライブシステムであるため，動的な形状変化も伴う．そのため，本来は，胸像の形状をリアルタイムで取得し，幾何補正する必要があるが，システム構成をなるべく単純にし，かつ，システム設置にかかる時間を削減するために，手動補正のためのツールを開発する．

3.4. システム構成

提案システムは，RMA と，凹凸形状スクリーンスクリーン（以下，スクリーン），カメラ及びプロジェクタの 4 つのデバイスで構成する．図 3 に提案システム構成図を載せる．映像に手動補正ツールを用いて幾何補正を行う為，カメラ及びプロジェクタはパーソナルコンピュータ

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

(PC)に接続する．RMA は 10 度傾け，観察するユーザの目線の高さに表示する．スクリーンは RMA から 2m 離れた位置に配置し，ユーザは 4m 離れた位置から観察する．

カメラは高さを人の目線に合わせ，正面 1m 離れた位置に 1 台，人を中心にした同心円上に左右 30 度移動させた位置にそれぞれ 1 台の合計 3 台配置し，人を撮影する．撮影の際には，ライト 2 台をカメラの後ろに配置する．

プロジェクタは，スクリーン以外の光を RMA が反射することを防ぐため，暗室内に配置する．スクリーン中心で，カメラと同様に合計 3 台配置し，映像を投影する．

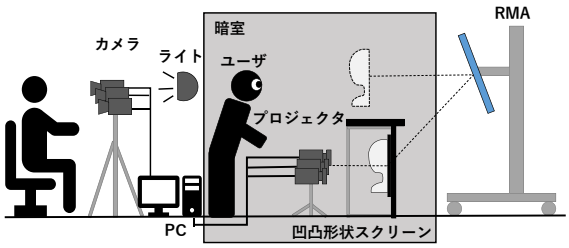


図 3 提案システム構成図

4. 実装

4.1. ライブ表示システム

カメラは WEB カメラ（Logitech HD Pro Webcam C920）を使用し，プロジェクタはモバイルプロジェクタ（PTVDISPLAY P8I）を使用した．カメラから PC への映像送信は有線の USB 接続で行い，PC からプロジェクタへの映像送信には HDMI ケーブルを用いた．スクリーン上部に黒色のパネルを設置した．これはプロジェクタの光を RMA に直接当てないようにするためである．撮影される被写体は椅子に座っている状態で撮影する．

4.2. 手動補正ツール

図 4 に本システムで実装した手動補正ツールのフローチャートを載せる．本ツールは Unity(ver2019.3.0f6)を使用し，投影環境を再現した仮想空間を用意した．

仮想空間内ではスクリーンの 3D モデルを配置し，仮想プロジェクタから撮影した映像の投影を行う．この時，ライブシステムによる動的な形状変化や，胸像とスクリーンの形状が異なることから，ズレが発生する．目視での確認の中，移動や変形を行い，ズレを補正する．

本ツールでは，複数台のカメラで撮った映像を，同時に仮想プロジェクタで投影できる．同時に投影されたスクリーンの 3D モデル上で，各投影映像がズレなく映るよう手動補正することで，複数台のプロジェクタの幾何補正が完了する．

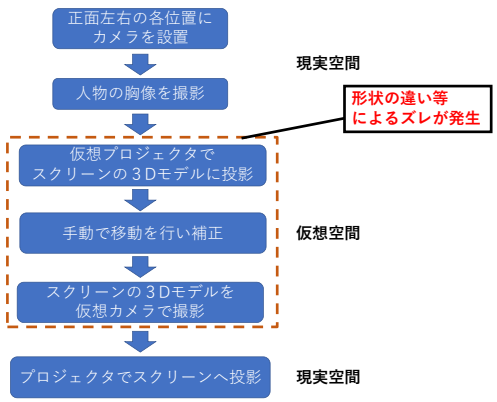


図 4 手動補正ツールの処理フローチャート

スクリーンの 3D モデルは以下の手順で作製した．まず，iPhone X の TrueDepth カメラでスクリーンを撮影し，点群データを得る．次に，ボールピボットアルゴリズムでメッシュを張った．TrueDepth カメラは被写体との距離を 0.1-1.0m とすることで深度誤差が 0.5mm 以下となる．

4.3. 実装結果

図 5 に幾何補正の後，映像を投影したスクリーンと，RMA で再帰性反射した胸像立体空中像を載せる．
幾何補正した結果，対象の人物と同様の胸像が投影されていることが確認できる．これにより，手動補正ツールによる補正の有効性を確認できた．

また，RMA が持つ縦横比が変化する特性から，像が縦方向につぶれてしまっているが，人物と判別できる胸像立体空中像が表示できていることを確認できた．加えて，空中像を観察するユーザが左に移動すると胸像の左頬が見えるようになり，右に移動すると右頬が見えた．これにより，視差の方向が反転せず，奥行き情報が正しい空中像が表示できていることを確認できた．

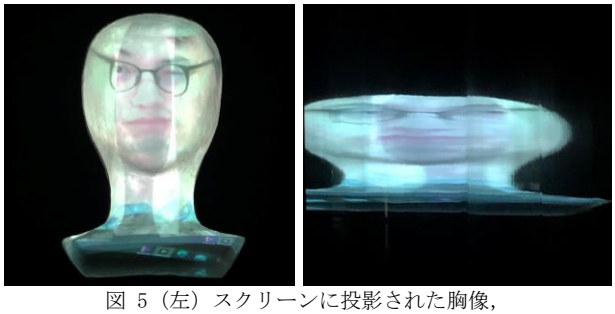


図 5（左）スクリーンに投影された胸像，
（右）RMA によって表示された胸像立体空中像．

5. 結論

本研究では，RMA と胸像の凹凸形状を成したスクリーンを用いて，胸像立体空中像の表示を，実時間で行うシステムの提案をした．また本システムで必要な幾何補正に関して検討を行い，凹凸形状スクリーンでの胸像立体像の表示を確認した．また，その像を RMA で再帰性反射することによって，胸像立体空中像の表示を確認できた．

謝辞

本研究の一部は，JSPS 科研費 JP20K04604 の助成を受けたものである．

参考文献

[1] T. Koike and Y. Onishi, “Aerial 3d Imaging by Retroreflective Mirror Array,” ACM ISS, 2018.

[2] G. E. Favalora, et al., “100million-voxel Volumetic Display,” Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., 2002.

[3] H. Sasaki, et al., “Large Size Three-dimensional Video by Electronic Holography Using Multiple Spatial Light Modulators,” Sic. Rep., 2014.

[4] G. Wetzstein, et al., “Tensor Displays: Compressive Light Field Synthesis Using Multilayer Displays with Directional Backlighting,” ACM Trans. Graph., 2012.

[5] 橋本ほか，“曲面スクリーンを用いたマルチプロジェクションディスプレイにおける任意視点での歪みのない映像提示手法”，映メ学会誌, 2004.

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.