

再帰性反射型コーナリフレクタアレイを用いた空中像の 自然で安定した像表示とインタラクション

宮崎 駆[†] 矢田 捷真[‡] 小池 崇文[†] 大西 康司[§]

[†]法政大学情報科学部 [‡]法政大学大学院情報科学研究科 [§]有限会社オプトセラミックス

1. はじめに

空中像技術は、何もない空中に映像を表示する技術である。古くから SF 映画などで親しまれており、近年では非接触ユーザインタフェースやデジタルサイネージ等への実用化が期待される。

空中像を表示する手法の一つとして、光源から来た光が再び入射方向へ戻る反射である、再帰性反射を用いたものがある [1, 2]。従来の再帰性反射を用いた手法は、映像が飛び出す距離が短い、輝度が低いといった課題がある。そこで小池らは Retroreflective Mirror Array (以下, RMA) を提案した [3]。RMA は、焦点距離が長い、空中像の輝度が高い、解像度が高いといった利点を持つ。しかし、RMA による空中像は、ユーザと空中像との距離によって空中像の縦横比が変化する特性がある。これによって、空中像の知覚の妨げになる場合がある。

そこで本研究では、RMA とデプスカメラを用いた、空中像の縦横比を補正するシステムを提案する。本研究ではディスプレイに映像を表示し、RMA で反射し空中像を表示した。デプスカメラでユーザと空中像の距離を測定し、その距離によって映像の縦横比を変化させ、自然な見た目の空中像の表示をおこなった。また、空中像とのインタラクションの実装もおこなった。

2. RMA 空中像の縦横比変化

RMA は 1 枚の板状の光学デバイスである。図 1 に示すように、RMA は光源からの光を、地面に対して水平方向に再帰性反射し、垂直方向に鏡面反射する。RMA で反射された光は、空中に実像として結像され、空中像として表示される。本研究では光源としてディスプレイに映像を表示する。

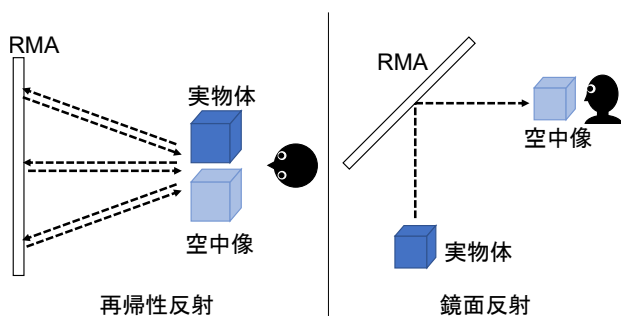


図 1: RMA の反射特性。横方向の光は再帰性反射する（左）。縦方向の光は鏡面反射する（右）。

Natural and Stable Image Display and Interaction of Aerial Image by Retroreflective Mirror Array

[†]Kakeru Miyazaki and Takafumi Koike

Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University

[‡]Shoma Yada, Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

[§]Yasushi Onishi, Optceramics Ltd.

RMA による空中像は、ユーザと空中像の距離によって空中像の縦横比が変化する特性がある。この原因として、横方向の光は再帰性反射をするため RMA から手前に飛び出して見える (図 2, (a))。縦方向の光は鏡面反射をするため、RMA の奥にできた像を見ている (図 2, (b))。横方向の画角が縦方向の画角より大きくなるため、縦横比が変化し横に引き伸ばされた空中像が見える。

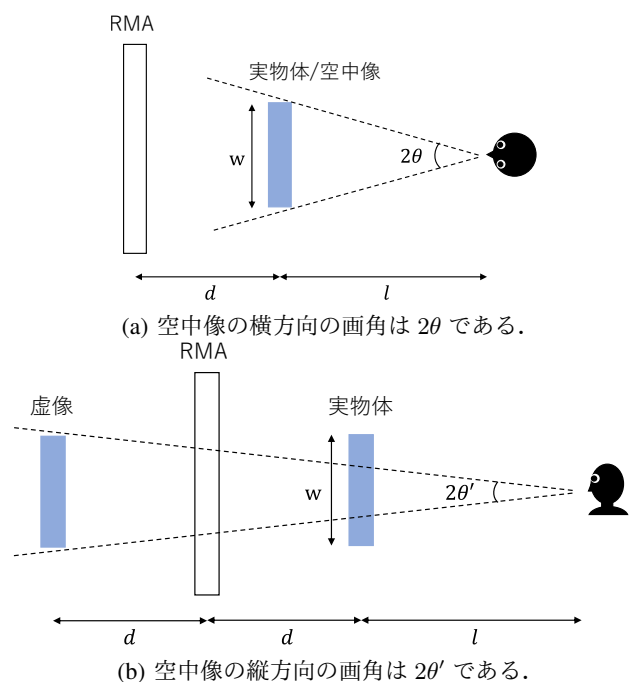


図 2: 空中像の横方向の画角と縦方向の画角

図 2 のように、空中像の横方向画角を θ 、縦方向画角を θ' 、観察者から空中像までの距離を l 、空中像から RMA までの距離を d 、実物体の幅を w とする。これより、式 (1), (2) が成り立つ。

$$\sin \theta = \frac{w}{2l} \quad (1)$$

$$\sin \theta' = \frac{\frac{w}{2}}{2d + l} \quad (2)$$

$\sin \theta$ と $\sin \theta'$ から、空中像の縦横比 θ/θ' が求まる。 d と w を一定とした場合、 l によって空中像の縦横比が変化する。 l が大きいほど、 θ/θ' は元の縦横比に近づくが、 $l = 7(\text{m})$ と十分に離れている場合でも縦横比は 2~3 倍程度となるため、自然な像表示をするためには縦横比の補正が必要となる。

3. 実装

ゲームエンジンの Unity を用いて、縦横比変形ソフトウェアの開発と、インタラクションを実装した。本シ

システムの全体像を図3に示す。PCと接続されたディスプレイに映像を表示し、RMAで反射し、空中像を表示する。縦横比を補正した映像をディスプレイに表示すると、自然な見た目の空中像表示ができる。

ユーザと空中像の距離は、0.6mから5mと想定した。カメラは垂直方向上向きに24°傾け、地面から1mの高さに設置している。これは、身長1.8mの人がカメラから0.6m離れた位置に立っている時、カメラに全身が写る設置位置である。

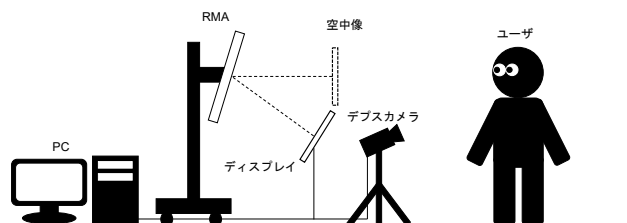


図3: 本システムの全体像

3.1. 縦横比変形ソフトウェアの開発

デプスカメラのIntel RealSense Depth Camera D455を用いて、映像の縦横比を変化させるソフトウェアを開発した。初めにデプスカメラで、空中像とユーザの距離 l を測定し、空中像の縦横比 θ/θ' を求める。次に、元の映像の横の長さを a 、縦の長さを b とすると、ディスプレイに表示すべき映像の横の長さ a' は、式(3)で求まる。

$$a' = a \times \frac{\theta'}{\theta} \times \frac{a}{b} \quad (3)$$

3.2. インタラクション技術

左右の手を挙げて、左右どちらかの映像を選択するインタラクションを実装した。まず、カメラから得た深度画像の中心を、上から下へ走査する。次に閾値を1mとし、隣り合う二点の深度の差が閾値より大きくなる点を、ユーザの頭の y 座標とする。次に、ユーザの頭の y 座標を左から右へ走査する。隣り合う二点の深度の差が閾値より大きくなる点があれば、手を挙げていると判定する。手を挙げ続けると円形のゲージが増え、そのまま2秒経過すると選択した映像が表示される。

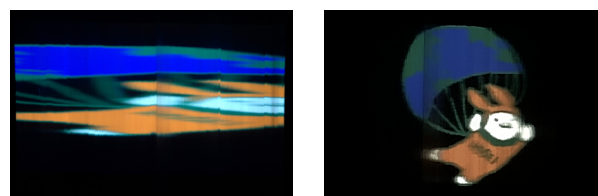
3.3. 実装結果

縦横比補正をしていない空中像と、縦横比補正をした空中像を図4に示す。RMAから空中像までの距離は2mで、撮影者と空中像の距離を、1mから5mへ変化させ撮影した。本研究が提案したシステムで、視距離によって縦横比が変化しない空中像を表示できた。

インタラクションの実装結果を図5に示す。図では右手を挙げ、右のボタンの選択をしている。

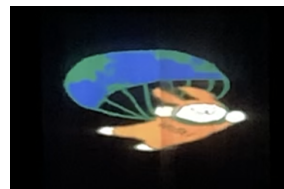
4. 結論

本研究では、RMAとデプスカメラを用いて、視距離によって空中像の縦横比を変化させ、元の映像と同じ縦横比の空中像を表示するシステムを提案した。また、空中像とのインタラクションの実装もおこなった。提案システムにより、ユーザが前後に移動した場合でも、リアルタイムで空中像が変形され、より自然な空中像を表示できた。



(a) 補正なし，空中像からの距離 1m

(b) 補正あり，空中像からの距離 1m



(c) 補正なし，空中像からの距離 5m

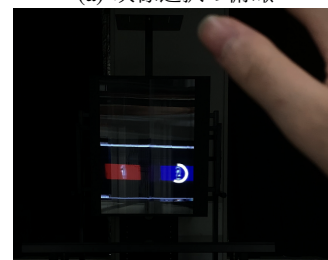


(d) 補正あり，空中像からの距離 5m

図4: 縦横比の補正をしていない空中像と補正をした空中像



(a) 映像選択の俯瞰



(b) 右手を挙げ続けると、右のボタンの円形のゲージが増える。

図5: 映像選択の様子

5. 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] H. Yamamoto, Y. Tomiyama, and S. Suyama, "Floating Aerial LED Signage Based on Aerial Imaging by Retro-reflection (AIRR)," Optics Express, 2014.
- [2] Y. Tokuda, A. Hiyama, M. Hirose, and H. Yamamoto, "R2D2 w/ AIRR: Real Time Real Space Double-Layered Display with Aerial Imaging by Retro-Reflection," SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies, 2015.
- [3] T. Koike and Y. Onishi, "Aerial 3D Imaging by Retroreflective Mirror Array," ISS '18, 2018.