

AriCE: 鏡の前後に水平・垂直の空中像を提示する 複合現実感システム

Horizontal and Vertical Mid-air Images Inside and Outside of a Mirror for Mixed Reality

山本紘暉[†]
Hiroki YAMAMOTO

金ハンヨウル[†]
Hanyuool KIM

小泉直也[‡]
Naoya KOIZUMI

苗村健^{†‡}
Takeshi NAEMURA

[†] 東京大学大学院情報理工学系研究科

[†] Graduate School of Information Science and Technology,
The University of Tokyo

[‡] 東京大学大学院情報学環

[‡] Graduate School of Interdisciplinary Information Studies,
The University of Tokyo

ABSTRACT

A mid-air image is one of the methods that enable Mixed Reality. It has merits that users can manipulate without wearing special installations such as glasses and that it can image at the same space as the real objects and users can reach their hands directly. In previous researches, two systems have been proposed. One of them shows both horizontal and vertical images, and the other system shows the images inside and outside a mirror. The purpose of these systems is improving perception of the position and compensating the reality of mid-air images. by presenting the information with other images. In this paper, integrating the concepts of the two systems, we proposed an optical system that can show one horizontal image and two vertical images inside and outside a mirror. In addition, we employed privacy filters to control the light direction, and confirmed that the luminance of the needless images is lowered.

Keywords: Mixed Reality, Mid-air Image, Optical Consistency, Tabletop Display

1. はじめに

コンピュータの中の情報世界と実世界を結びつけ、より高度な情報メディア環境を実現する複合現実感[1]に関する研究は、ヒューマンインタフェースやエンタテインメント応用への展開が期待されているものの、Head Mounted Displayなどの特殊機器の装着を強いるものになっている。

そこで本稿では、空中像を用いた複合現実感システムの研究に取り組む。空中像とは、光学系を用いて光源から発せられた光を実空間に結像させたものである。空中像はユーザに機器を装着させることなく光学系よりも手前に飛び出した位置に映像を表示でき、さらにディスプレイハードウェアを隠し、情報だけを空間に提示することができる。

空中像は映像として見ることができるが、ディスプレイが物理的に存在せず視覚的情報が少ないため、位置の知覚が難しく、リアリティに乏しいという欠点がある。この問題に対して、加藤らは2つの空中像を表示するシステムを提案している。これらのシステムでは、立像と同時に水平な映像を提示すること[2]や鏡の手前側と奥側で像の表面と裏面を表示すること[3]が実現されている。水平像に奥行き情報を提示したり、鏡に映る立像との関係から高さを示したりすることで位置関係の把握を容易にし、また、鏡に映り込まない空中像を通常の物体と同じく鏡の前後に裏表が映っている状態を作り出すこ

とでリアリティを補えることが示唆されている。

本研究では、これらの研究のコンセプトを統合し、鏡の前後で2つの立像と、床面である1つの水平像の合計3つの像を提示できるシステムを提案する。これにより、床面と鏡に映る立像の両方で位置情報を提示できること、また、実世界と鏡の世界の整合性をとることで、リアリティの向上することが期待される。また、プライバシーフィルタを用いてディスプレイから発せられる光線の方向を制限することで、副次的な光線の輝度を減少させられることを確認した。



Figure 1 AriCE system

本研究の目指すシステムは Figure 1 のようである。鏡の手前側と奥側に垂直な立像を表示し、鏡をまたがるような形で水平な像を表示する。立像の位置は鏡に対して対称であり、ユーザが実世界と鏡の中の世界で指差している位置と同じである。また、映っている像は実物と同様に鏡の前後で反転した状態で表示する。水平像と垂直像の両方を観察するため

に、テーブル面を横からではなくて、斜め上から見るような形で使用する。また、空中像が表示されるためには、テーブル面が透明である必要がある。不透明な面では空中像を表示できないため、床面も空中像で構成した。

2. 関連研究

空中像を表示できる光学系として、Dihedral Corner Reflector Array (DCRA) [4]やAI-Plate[5]があげられる。これは直交する微小な鏡が面状に並んでいる光学素子である。入射した光が直交する鏡で2回反射することによって（以降、2回反射と呼ぶ）、光源から発せられた光を光学素子の面に関して対称の位置に実像として結像する。どちらの光学素子においても、ディスプレイの位置や視点によっては、1回だけ反射した光が観察される[4]（以降、1回反射と呼ぶ）。この1回反射の光は迷光であり、2回反射の像と重なって見えにくくしてしまう本来得たくない光である。

テーブル上に水平な像と垂直な像を表示するシステムが提案されている。寛らの Tablescape Plus[6]において、テーブル上に立てた小さいスクリーンとテーブルの面上にプロジェクションすることで垂直・水平な映像表示を実現している。金ら[7]は視線制御フィルムを用いて、プロジェクションによる水平像と空中像による垂直像の両方を表示するシステムを提案している。これらのシステムにおいては、鏡の前後に映像を提示するというはなされてない。

鏡を用いたインタラクションシステムが提案されている。寛らの提案した through the looking glass[8]は視線制御フィルムを用いることで、鏡の前後で異なる水平像を表示し、鏡の中の自身とのホケーゲームを可能にしている。また、加藤ら[3]は鏡の前後に空中像を表示することによって、実際の環境に近づけリアリティの高い環境を目指している。これらのシステムでは水平な映像と垂直な映像を同時に表示することは実現されていない。

本研究は、鏡の前後に水平・垂直な空中像を表示するシステムを考える。水平像や鏡に映った像によって鏡の手前の像に対して位置情報を与えたり、実際の物理現象と同じく鏡の前後に像の表裏が表示されることによってリアリティが向上することが期待される。

3. 提案システム

Figure 1 を実現する仕組みとして、Figure 2 (a)のようなシステムを提案する。AI-Plate2 枚 (AIP1, AIP2)、ハーフミラー (HM)、ディスプレイ3つ (D1, D2, D3) からなる。Figure 2 (b)のように、D1 から発せられた光は AIP1 を通り HM によって反射されることで、水平像 I1 として結像する。また、Figure 2 (c)のように、D2, D3 から発せられた光は、AIP2 を通り HM を透過することで、垂直像 I2, I3 として結像する。I2, I3 の位置は鏡面に関して対称の位置である。

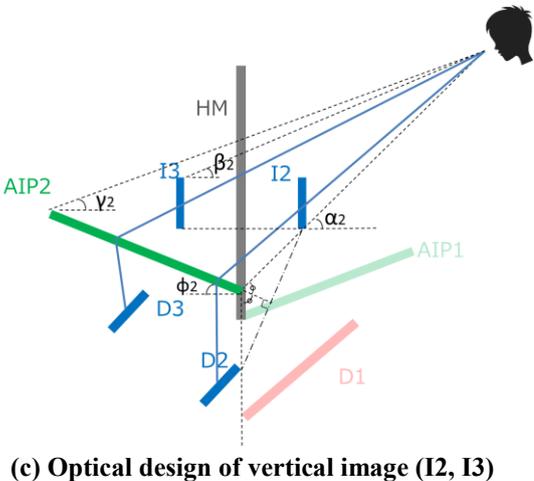
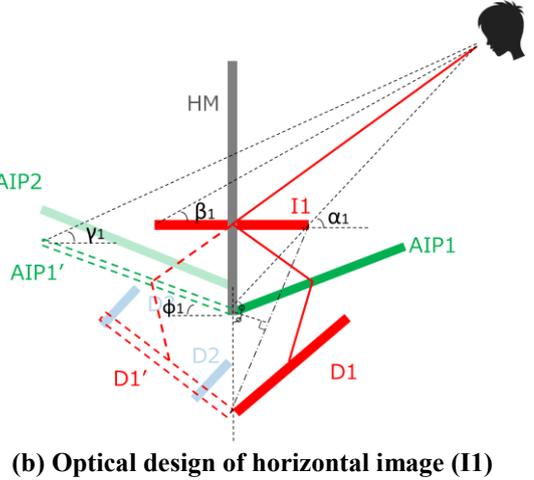
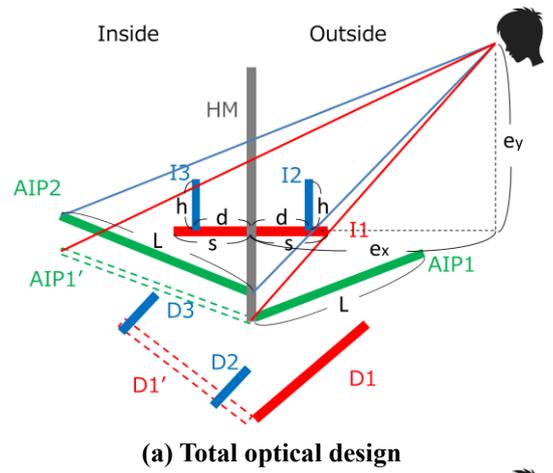


Figure 2 Proposed optical system

パラメータは以下の通りである。表示される像の中心部からユーザまでの視点の水平方向の距離を e_x 、垂直方向の距離を e_y とする。水平像 I1 の大きさを $2s$ ($s < e_x$)、垂直像 I2, I3 の高さを h 、垂直像と HM の距離を d ($d < e_x$)、AIP1, AIP2 の一辺の長さはそれぞれ L とする。水平像に関して、Figure 2(b)のように、視点から像の手前端までを結んだ視線がなす角度を α_1 、奥側の端までの角度を β_1 とし、AIP1 までの視線の角度を γ_1 、AIP1 の設置角度を ϕ_1 とおく。また、垂直像に関して、Figure 2(c)のように、I2 の下端までの角度を α_2 、I3 の上端までの角度を β_2 、AIP2 までの視線の角度を γ_2 、AIP2 の設置角度を ϕ_2

とおく。

このとき、満たすべき条件は以下の通りである。

- (1) D1 が HM よりも手前側にある
- (2) D2, D3 が HM よりも奥側にある
- (3) I1 が見きれない
- (4) I2 が見きれない
- (5) ユーザの視点から見て I2 と I3 が重ならない

(1), (2)については幾何学的条件である。各ディスプレイが逆側に存在した場合、光線を邪魔してしまう。空中像の位置を固定して考えた場合、ディスプレイの位置は AIP の設置角度によって決定される。この角度を大きくすることで、ディスプレイの位置をそれぞれ HM よりも手前側、奥側に設定できる。(3), (4)は視点から AIP を見込む視野の範囲に I1, I2・I3 が収まっていることを意味する。(5)は AIP2 によってディスプレイの奥行きが反転されることによる条件である。視点を下げたとき、D2 の光が D3 によって遮られ、I2, I3 のオクルージョンが矛盾した状態になってしまう。このため、I3 の下端から I2 の上端を結んだ線よりも上部に視点を設定する必要がある。

よって、これらは以下のように書き換えられる。

- (1) $\varphi_1 \geq 45^\circ - \alpha_1/2$
- (2) $\varphi_2 \geq 45^\circ - \alpha_2/2$
- (3) $\gamma_1 < \beta_1 \Leftrightarrow \tan \gamma_1 < \tan \beta_1$
- (4) $\gamma_2 < \beta_2 \Leftrightarrow \tan \gamma_2 < \tan \beta_2$
- (5) $\frac{e_y}{e_x+d} > \frac{h}{2d}$

($0 < \beta_1, \gamma_1, \beta_2, \gamma_2 < 90^\circ$)

(1), (2)に関して、 φ_1, φ_2 が大きくなると、視点から AIP を見込む角度も大きくなり像の輝度が下がってしまう[4]ため、 $\varphi_1 = 45^\circ - \alpha_1/2, \varphi_2 = 45^\circ - \alpha_2/2$ とした。このとき、

$$\left\{ \begin{array}{l} \tan \gamma_1 = \frac{e_y + s \tan \alpha_1 - L \sin(45^\circ - \alpha_1/2)}{e_x + L \cos(45^\circ - \alpha_1/2)} \\ \tan \beta_1 = \frac{e_y}{e_x + s} \\ \alpha_1 = \arctan\left(\frac{e_y}{e_x - s}\right) \\ \tan \gamma_2 = \frac{e_y + d \tan \alpha_2 - L \sin(45^\circ - \alpha_2/2)}{e_x + L \cos(45^\circ - \alpha_2/2)} \\ \tan \beta_2 = \frac{e_y - h}{e_x + d} \\ \alpha_2 = \arctan\left(\frac{e_y}{e_x - d}\right) \end{array} \right.$$

となり、これが(3), (4)式を満たせば良い。

4. 実装

実装したシステムを Figure 3 に示す。ディスプレイ (D1, D2, D3) として通常の携帯端末やディスプレイを用いた場合、観察された空中像の明るさが足りなかったため、プロジェクタとスクリーンを用いて構成し、光量をあげた。プロジェクタには BenQ GP10 (550 lm) を、スクリーンにはトレーシングペーパーを用いた。

また、1 回反射による光が観察されたため、プラ

イバシーフィルタをスクリーンにとりつけ光線の角度を制限した。この角度とは Figure 2 における紙面に垂直な方向の角度をさす。プライバシーフィルタは入射角の小さい光線の透過率が高く、入射角の大きい光線の透過率が低いフィルムである。用いたプライバシーフィルタは 3M PF12.1W EH2 (視野角左右 24 度) である。

今回の実装では、 $e_x = 45\text{cm}, e_y = 30\text{cm}, s = 15\text{cm}, d = 12\text{cm}, h = 10\text{cm}, L = 36\text{cm}, (\alpha_1 = 45^\circ, \alpha_2 = 42.3^\circ)$ とした。これは条件(3), (4), (5)を満たす値である。

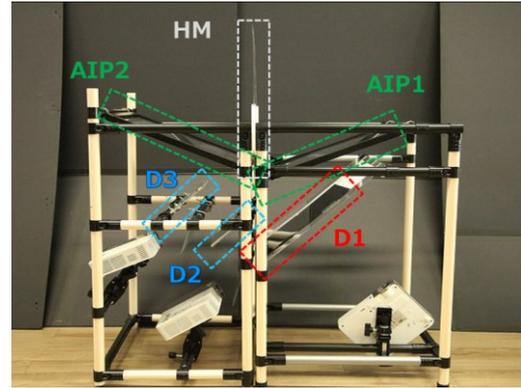


Figure 3 System Configuration

5. 結果

システムを実装した結果、鏡の前後に 2 つの立像とそれらをつなぐ床面が観察できた (Figure 4)。また I1 として、床面にキャラクタの位置を示すスポットライト表現を付加した。これは先行研究[9]において、影を床面にプロジェクションすることで空中像の奥行きを認識する速度や精度が向上したことに基づいている。

プライバシーフィルタによって、1 回反射の光が抑えられている様子を Figure 5, 6 に示す。1 回反射の光は入射角が大きい光 (スクリーンから斜めに出た光) が結像しているものである[4]。プライバシーフィルタによってスクリーンから出る光のうち横に広がっていく光線を制限できる。この光線は AI-Plate に入射角度が大きい状態で入射する光線であるので、これを制限することで 1 回反射の像を抑えることができた。

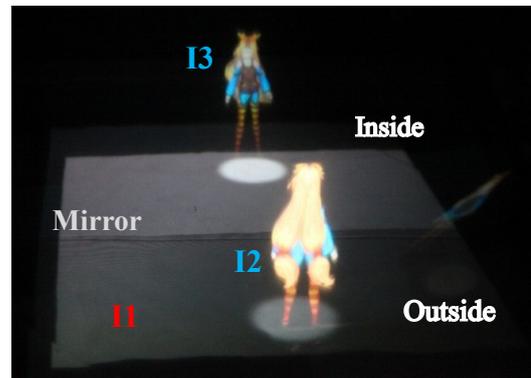
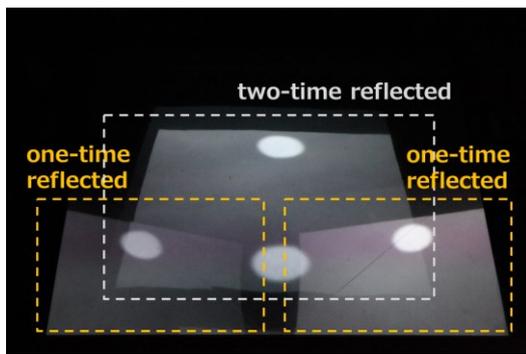
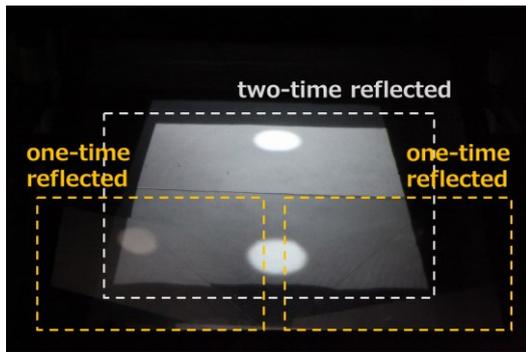


Figure 4 Result: horizontal and vertical images (Canon EOS 5D Mark II, f/22, 1/13s, ISO-6400)

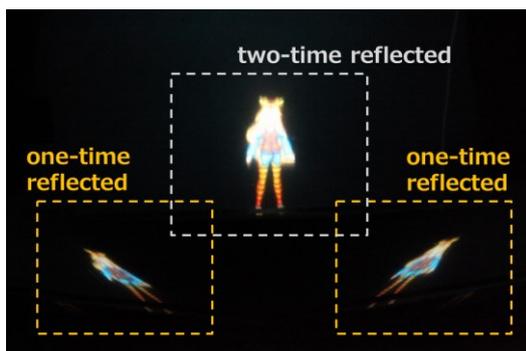


(a) Without filter

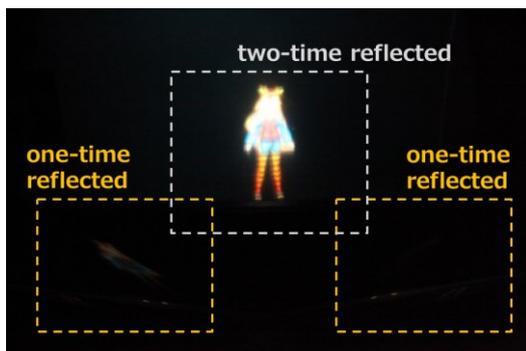


(b) With filter

Figure 5 The effect of filter on horizontal image (I1)



(a) Without filter



(b) With filter

Figure 6 The effect of filter on vertical image (I3)

6. まとめ

本稿では、複数の空中像による結びつきによって立体感やリアリティの向上を目指す仕組みとして、鏡の前後に立像2つと水平像1つを表示する光学システムを提案し、実装したシステムによって目的の

像が提示できることを確認した。立像は鏡面の位置に関して対称であり、実世界と鏡の中の世界でユーザが指差している位置にキャラクターが表示される様子が観察された。

また、AI-Plateによる像のうち、1回反射による光について、ディスプレイ部分にプライバシーフィルタを用いて光線の方向を制限することによって、光量を減少させることが可能であることを確認した。

今後としては、水平像を単純な床面としてだけでなく情報提示を活かした表示をするディスプレイとして利用することや、床面や鏡に映った像があることによってユーザの空中像に対する知覚がどのように変化するかを評価することが考えられる。

参考文献

- [1] Paul Milgram, et al.: "A taxonomy of mixed reality visual displays." *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol. 77, no. 12, pp. 1321-1329 (1994)
- [2] 加藤紀雄ら. "2つの結像系を用いた複合現実型空間立像ディスプレイ," *日本バーチャルリアリティ学会論文誌* 12(3), pp. 323-329 (2007)
- [3] Norio Kato, et al. "Mixed reality environment with a mirror." *ACM SIGGRAPH 2006 Research Posters*, no. 155 (2006)
- [4] Satoshi Maekawa, et al.: "Transmissive Optical Imaging Device with Micromirror Array." *Optics East 2006, International Society for Optics and Photonics*, pp. 63920E-63920E (2006)
- [5] 株式会社アスカネット: 光学結像装置特開 2012-155345 (P2012-155345S)
- [6] 寛康明ら: "Tablescape Plus: インタラクティブな卓上映像シアター", *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, vol. 11, no. 3, pp. 377-386 (2006)
- [7] Hanyuool Kim et al.: "HoVerTable: Dual-sided Vertical Mid-air Images on Horizontal Tabletop Display." *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, pp. 1115-1120. (2015)
- [8] 寛康明ら: "through the looking glass", *芸術科学論文誌*, vol. 3, no. 3, pp. 185-188 (2004).
- [9] 山本紘暉ら, "複合現実感システムのための空中像に対する影のプロジェクトの提案," *3次元画像コンファレンス 2014 セッション 4-3* (2014)