



## 実在感の向上を目的とした空中像と床面像の同時投影方式

吉田 駿<sup>1)</sup>, 謝 淳<sup>2)</sup>, 宍戸 英彦<sup>3)</sup>, 亀田 能成<sup>3)</sup>, 掛谷 英紀<sup>4)</sup>, 北原 格<sup>3)</sup>

1) 筑波大学 大学院システム情報工学研究科

(〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, yoshida.syun@image.iit.tsukuba.ac.jp)

2) 筑波大学グローバル教育院エンパワーメント情報学プログラム

(〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, xie.chun@image.iit.tsukuba.ac.jp)

3) 筑波大学 計算科学研究センター

(〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1, {shishido, kameda, kitahara}@ccs.tsukuba.ac.jp)

4) 筑波大学 システム情報系

(〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, kake@iit.tsukuba.ac.jp)

**概要**：劇場などで使用される視覚トリックの一つであるペッパーズ・ゴーストによって生成された空中像に対して、奥行き感知覚の手がかりとなる影や足跡などの地面像を付加することにより、提示対象物体の実在感を向上させる手法を提案する。本稿では、液晶シャッターと偏光板を用いることにより多人数向け、かつ装着型のデバイスを用いない、地面像と空中像の同時提示を可能とする提示法および提示システムについて述べる。

**キーワード**：空中像, 実在感, 3D, 空間拡張現実

### 1. 背景と問題点

ペッパーズ・ゴーストとは、ハーフミラーなどのビームスプリッターを用いて実像と虚像（ゴースト）を重畳提示する技術であり、舞台やステージ演出に利用されている。本研究では影、足跡、地面などの映像を床面像、空中に映し出す映像を空中像と定義する。本研究でも、ペッパーズ・ゴーストを用いて、図1に示すようなディスプレイ上の映像をハーフミラーに反射させることで空中像を提示する。Luoらは、タブレット上に円錐型のハーフミラーを配置することで、立体感が向上すると報告している[1]。

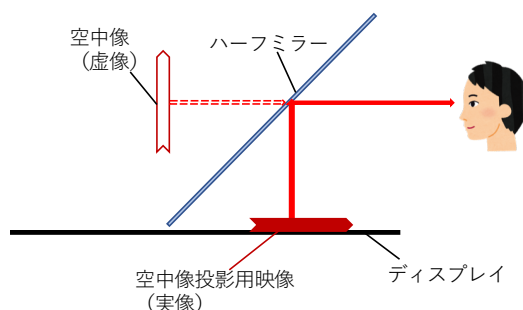


図 1: ペッパーズゴーストによる空中像提示

影や足跡の情報は、奥行き感知覚の手がかりとなるため、それらの提示によって、対象物体の臨場感や実在感の向上が期待されるが従来のペッパーズ・ゴーストを用いた映像提示では、地面像の提示は検討されていない。

ペッパーズ・ゴーストに対して地面像を直接的に提示する場合、図2に示すように、青丸内で空中像と地面像の間でのクロストークの問題が発生する。

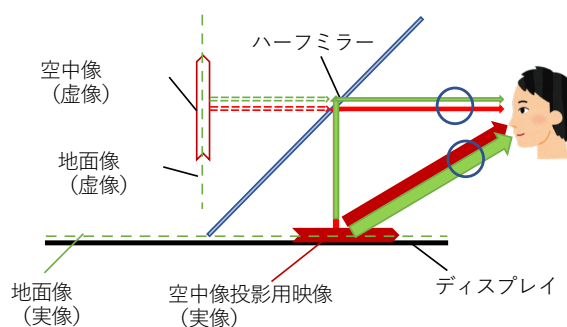


図 2: 実像と反射像によるクロストーク

空中像と地面像を同時に提示可能な方式として、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)などの装着型デバイスを用いた提示方式、ディスプレイとプロジェクタを複数使用する提示方式が考えられる。HMDや偏光フィルタ眼鏡などの装着型デバイスを用いる提示方式には、装着の煩わしさ

Syun YOSHIDA, Chun XIE, Hidehiko SHISHIDO,  
Yoshinari KAMEDA, Hideki KAKEYA, and Itaru  
KITAHARA

や必要台数の機材確保などの問題がある。

複数のディスプレイやプロジェクタを用いる提示方式として、Yoshida は、他人数向けかつ装着型デバイスを必要としない空中像と地面像の提示方式 fVisiOn を提案している[2]。約 100 台のプロジェクタとすり鉢状の光学素子をテーブルの下に配置することで、テーブル上に光学機器を設置することなく空中像と地面像を提示する。一方で、すり鉢状の光学素子の作成や多数のプロジェクタに、計算・費用・労力のコストを要する。

プロジェクタを用いて、空中像に対して影などの地面像を付加する研究も行われている[3][4]。これらの研究ではハーフミラーなどで生成された空中像に対して、影やアノテーション情報をプロジェクタで提示している。しかし、これらの方法ではプロジェクタを観察者の邪魔にならない高い位置に設置する必要があるため、装置が大規模化するという問題が存在する。

図 3 に示すように別々のディスプレイに対して地面像用と空中像用映像を個別に提示する方法も考えられるが、この方法では空中像と実在の物体でのシースルーARを実現することが難しく、ペッパーズ・ゴースト提示時の実現が困難となる。

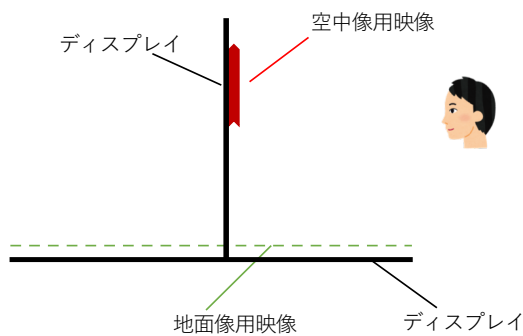


図3: 二つのディスプレイを用いた提示方式

Takeya らは時分割した映像に対して液晶シャッタを用いて右眼と左眼に異なる映像を提示し、視差を作り出すことで立体視ができると報告している[5]。高速で像を入れ替えることで観察者に同時に投影されているように錯覚させる。また、液晶シャッタを用いることでディスプレイの映像の光の偏光の向きの制御を実現している。

本研究では、先行研究[1]同様に円錐状のハーフミラーを用いるペッパーズ・ゴーストによる空中像に加え、それに付随する地面像を同時に提示する手法を提案する。本提案手法により、実在感や臨場感が高い映像を楽しむことが期待される。

## 2. 空中像と地面像の同時投影方式

### 2.1 設計の方針

本研究では、反射時に位相が反転する光の反射特性に着目し、液晶シャッタと偏光フィルタを用いて地面像と空中像を分離する。分離した映像を高速で切り替えながら時分

割提示することにより、観察者には両方の映像が同時に提示されているように錯覚させる。図 4 に提案手法の構成を示す。

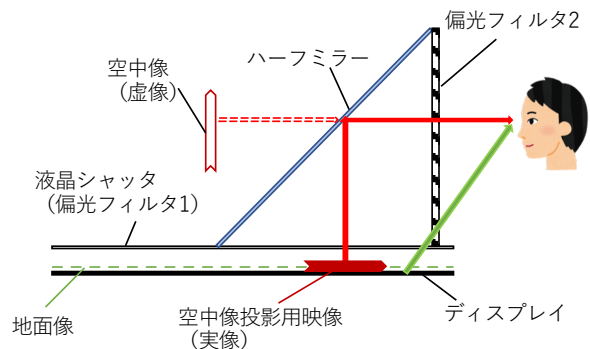


図4: システム構成図

地面上に空中像と地面像を提示するディスプレイを設置し、ディスプレイの上に投影光の偏光方向を制御する液晶シャッタ(偏光フィルタ1)を重ね置く。その上に、空中像が提示される円錐状のハーフミラーを設置する。ハーフミラーと観察者の間には、特定偏光方向の光線を通す偏光フィルタ2を設置する。

### 2.2 空中像の提示

ディスプレイに提示された像は、偏光フィルタ1で偏光方向が制御された後、図5に示すように、直接観察される経路と、ハーフミラーによる反射像が観察される二通りの経路を経て観察者視点に到達する。そのうち、直接観察される像は、偏光フィルタ2と偏光フィルタ1の偏光方向が直交する場合、遮光される。一方で、ハーフミラーによる反射像は、反射によって位相が反転するため、偏光フィルタ2を通過し、ハーフミラー奥に映し出された空中像として観察される。このように、ディスプレイに空中像を提示する際には、偏光フィルタ2と直交するように偏光フィルタ1の偏光方向を制御することで、クロストークのない空中像提示を実現する。

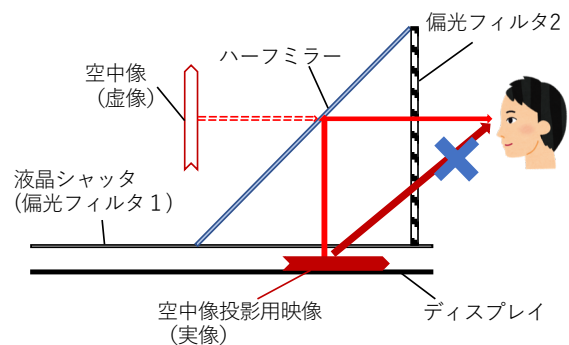


図5: 空中像の提示

### 2.3 地面像の提示

偏光フィルタ1の偏光方向が偏光フィルタ2と直交しない場合、ディスプレイに提示された像は、図6に示すように直接観察される。一方で、ハーフミラーによる反射像は、

反射によって位相が反転し、偏光フィルタ2を通過できない(遮光される)。このように、ディスプレイに地面像を提示する際には、偏光フィルタ2と平行になるように偏光フィルタ1の偏光方向を制御することで、クロストークのない地面像を提示することができる。

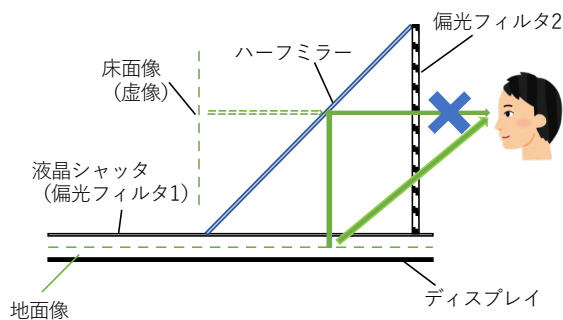


図6: 地面像の提示

空中像を提示するタイミングでは、偏光フィルタ1と2の偏光方向が直交するように、地面像を提示するタイミングでは、偏光フィルタ1と2の偏光方向が平行になるように、偏光フィルタ1の偏光方向を毎フレーム切り替え、それと同期して空中像と地面像を時分割提示することにより、クロストークが発生しない空中像と地面像の同時提示を実現する。

本方式では、液晶シャッターを用いて光の偏光方向を制御することで、偏光フィルタ1を実現する[6]。ディスプレイ及び液晶シャッターは応答速度が速いTN型のものを用いた。

液晶ディスプレイの液晶内にはカラーフィルタが入っており、このカラーフィルタと偏光フィルタ1が干渉するとモアレが発生するため、ディスプレイと偏光フィルタ1の間に一定の距離をあけることで解消する。

偏光フィルタ2とディスプレイのなす角度が平行に近いほど遮光効率が良い。一方で、偏光フィルタ2とディスプレイのなす角度が小さくなると、ハーフミラーとの接触が問題となる。本提示システムでは図7に示すようにディスプレイとのなす角度を約45度として偏光フィルタ2を配置する。

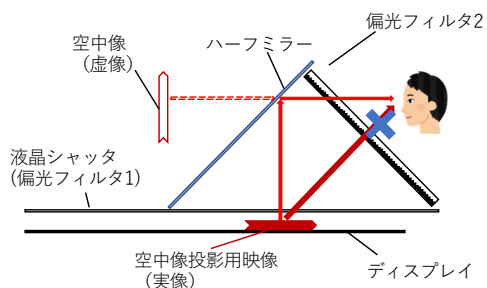


図7: 偏光フィルタ2の配置図

### 3. 実証実験

#### 3.1 実験環境

提案手法を実装したプロトタイプシステムを用いて実証実験を実施する。映像の生成・提示処理は、CPU: AMD(R)

Ryzen 7 1800X プロセッサー(3.6-4.0GHz/8 コア/16 スレッド/16MB キャッシュ/TDP95W), GPU: NVIDIA(R) GeForce GTX 1080 Ti 11GB GDDR5X を搭載した PC によって実行する。ディスプレイ及び液晶シャッターは、ASUS, VG248QE-J (フル HD, 24 型, リフレッシュレート 144Hz) を用いた。提示映像は Unity 2018.1.6f1 を使用して生成する。円錐状ハーフミラーの形状に合わせて提示映像を歪曲させる処理は文献[1]に従った。ハーフミラーはポリエチレンテレフタレートプラスチック素材を用いた。空中に投影する3次元モデルとして Unity から配布されている“ユニティちゃん”を使用した[7]。

#### 3.2 実験結果

ディスプレイに提示する映像の一例を図8,9に示す。図8は空中像用の映像であり、図9は地面像(図8の空中像の影)である。

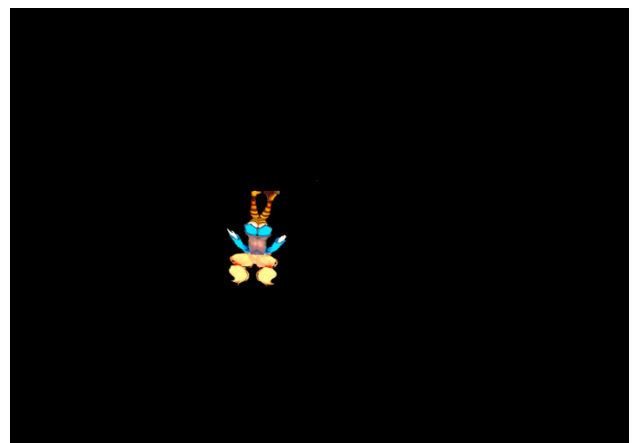


図8: 空中像用の映像

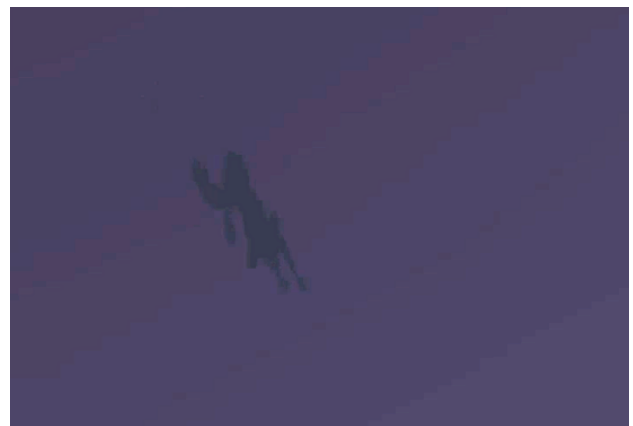


図9: 床面像用の映像(空中像の影)  
(紙面掲載用に色調補正)

この2種類の映像を毎フレームごとに切り替えると、ディスプレイのリフレッシュレートが144Hzと高速であるため、観察者は空中像と地面像が一つの映像のように知覚する。

提示した映像を観察した結果を、図10,11に示す。図10

の黄丸内に空中像、赤丸内に地面像（空中像の影）が同時に観測されている。図10で見切れているが図11では、緑丸内に空中像の映像が写り込んでしまっている。



図10: 投影結果



図11: 空中用映像の映り込み

#### 4. おわりに

劇場などで使用される視覚トリックの一つであるペッパーズ・ゴーストによって生成された空中像に対して、奥行き感知の手がかりとなる影や足跡などの地面像を付加することにより、提示対象物体の存在感を向上させる手法を提案した。液晶シャッターと偏光板を用いることにより、多人数向け、かつ装着型のデバイスを用いずに、地面像と

空中像の同時提示を可能とする提示システムを実現し、実証実験を通じてその実用性を評価した。影の他に足跡を付加する映像コンテンツの製作や、空中像用の映像の消去、視野角の向上などが今後の課題である。

本研究は科研費(17H01772)の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- [1] Xuan Luo, Jason Lawrence, Steven M. Seitz : Pepper's Cone: An Inexpensive Do-It-Yourself 3D Display, UIST'17, pp. 623-633, 2017.
- [2] Yoshida. S : fVisiOn: interactive glasses-free tabletop 3D images floated by conical screen and modular projector arrays, SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies, 2015.
- [3] Yutaka Tokuda, Atsushi Hiyama, Michitaka Hirose, Hirotugu Yamamoto : R2D2 w/ AIRR: real time & real space double-layered display with aerial imaging by retro-reflection, SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies, 2015.
- [4] 山本 紘暉, 梶田 創, 小泉 直也, 苗村 健 : EnchanTable: テーブル面の反射を用いた直立空中像ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 3, pp. 401-410, 2016.
- [5] Hideki Kakeya, Ken Okada, Hayato Takahashi : Time-Division Quadruplexing Parallax Barrier with Subpixel-Based Slit Control, ITE Trans. on MTA, Vol. 6, No. 3, pp. 237-246, 2018.
- [6] SHARP, 「液晶ディスプレイの原理」, [http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2\\_1.html](http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2_1.html) (参照 2018-7-17)
- [7] Unity 「UNITY-CHAN OFFICIAL WEBSITE」 © Unity Technologies Japan/UCL <http://unity-chan.com/> (参照 2018-7-17)