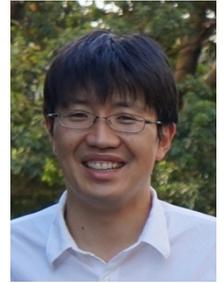


空中映像産業の基盤技術としての建築調和型空中像光学系の構築

研究代表者

小泉 直也 電気通信大学 助教



1. 研究の背景と達成目標

背景：

空中像とは、光源から出た光が反射・屈折して結像することによって空中に表示される映像のことである。2019年の技術では、光学素子によってどのような像が表示できるのか、その像の明るさや解像度、さらには迷光の発生が予測できないなどの課題があった。そこで新たにシミュレーション技術によって、これらをCG上で設計可能にする必要があった。これによって設計業界の参入障壁を下げると同時に、提示技術とインタラクション技術を洗練して空中像プラットフォームを提供し、コンテンツメーカーの参入・普及を促すことが必要とされていた。

達成目標：

本研究は、空中映像産業の基盤技術として、空間と映像が調和する表現技術の構築を目的とする。達成手段として、物理モデルベースのレイトレーシングによる空中像光学素子のシミュレーションを用いた設計手法を提案する。現在は光学等の専門家しかできない装置設計を、UI/UXや映像のデザイナーがCGを用いて設計・検討できるようにする。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

主な研究成果：

1. 空中像の設計を設計するため、再帰透過光学素子(micromirror array plates, MMAP)やルーバーフィルムなどのレイトレーシングで使用可能なモデルデータの作成し、その評価から、空中像の面対称性・迷光の発生・視域の限定・輝度の再現ができていることを確認した。
2. 上述1の成果をもとに、レイトレーシングでレンダリングした結果にコンピュータビジョンで評価を行うという一連の研究手続きを確立することができた。
3. 可視光と赤外光を組み合わせることを提案し、空中像インタラクションとして利用しやすい構造を提案・実装した。

学術へのインパクト：

4. 上述2の手續きによって、当研究室で多くの研究が実施されており、空中像設計の基盤技術となっている。
5. 上述3の成果は、現在心理学実験に応用されており、空中像の技術的側面ではなく、心理的側面の影響調査などが今後進むと考えている。

社会へのインパクト：

6. Covid-19の影響もあり、空中像に関する研究そのものが社会に与えた影響が大きかった。特に1の成果によって、企業との仕事が進んでいる。

3. 研究成果

空中像とは、光源から発せられた光が光学素子によって反射・屈折し、空中に結像したものである。光源に液晶モニター等の発光する映像装置を用いることで、映像を空中に浮かばせることができる。もちろん、観察者は特別な装置を身につける必要なく裸眼で見ることができる。建築空間のような不特定多数の人が関わる公共空間に拡張現実感を組み込む際の技術基盤になりうるものと考えている。

レイトレーシングによる空中像シミュレータの作成

空中像光学系では迷光・観察可能範囲の限定・輝度減衰といった課題が存在する。これらの性質を実際の光学系を組み立てながら考慮するには、多くの時間と試行回数を要する上に、光学的知識が必要とされる。そこで空中像の見た目を、物理ベースレイトレーシングを用いてCGによって再現できる空中像のシミュレーションを実装した。図1に実物の写真及びシミュレーション結果を示す。



図 1 物理ベースレイトレーシングによる空中像再現(左) 実際の空中像(右)シミュレーションによる再現

このシミュレーションが現実とどの程度一致しているのかを、光学素子の持つ面对称性・迷光・視域の限定・輝度減衰の4つの性質に関して検証した。面对称性の実験では、ステレオマッチングを用いて空中像の奥行位置を測定し、光源と空中像が光学素子に対して面对称な位置関係であることを確認した。迷光の実験では、シミュレーションと実際の空中像から得た、空中像と迷光の間のアフィン変換行列の類似度を計算し、結果として97.6%の類似度が得られた。視域の実験では、結像する空中像の面積を計測し、シミュレーションと実際の空中像における面積変化の傾向が類似することがわかった。最後に輝度減衰の実験では、レンダリングした空中像と光源の輝度比を、実際の空中像のデータと比較し2.5%程度の誤差でシミュレーションできることがわかった。ここで制作したシミュレーション環境は github に公開している。



Refractive surface



Reflective surface

さらにレイトレーシング法によるシミュレーションを活用し、屈折・反射面の内外に歪みのない空中像を表示する手法を開発した。シミュレーションにおいて歪みの無い空中像が観察されるとき視点映像を、視点から対象となる空中像光学系を介して光源位置まで逆伝搬させることで歪みの無い空中像を結像するための光源映像を生成した。本手法による空中像歪みの補正を屈折・反射面の両方に適用し、その効果を検証した。さらに、光源画像をテクスチャマッピング等で用いられるUV情報として扱うことで動的な空中像の歪み補正を実現した。図2に本手法でレンダリングした成果を示す。

図 2 透明物体内部および湾曲反射面上における映像表示技術(左が補正あり・右が補正なし)(上)透明物体内部での表示における補正の有無の差(下)湾曲反射面上における補正の有無の差

5. 発表実績

1. 論文掲載 Shunji Kiuchi, **Naoya Koizumi**. Simulating the appearance of mid-air imaging with micro-mirror array plates. *Computers & Graphics*, Vol. 96, pp. 14–23, doi.org/10.1016/j.cag.2021.02.007, 2021.
2. 学会発表 Shunji Kiuchi and **Naoya Koizumi**. Distortion-free Mid-air Image Inside Refractive Surface and on Reflective Surface. In *Proceedings of 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 606–614, [doi:10.1109/VR51125.2022.00081](https://doi.org/10.1109/VR51125.2022.00081), 2022.
3. 学会発表 Shohei Ando and **Naoya Koizumi**. 2022. Floagent: Interaction with Mid-Air Image via Hidden Sensors. In *SIGGRAPH Asia 2022 Emerging Technologies (SA '22 Emerging Technologies)*. Article 4, 1–2. DOI: <https://doi.org/10.1145/3550471.3558398>
4. 学会発表 齋藤 旭, 木内 舜司, **小泉 直也**. レイトレーシング法を用いた再帰反射による空中像のCG再現のための基礎検討. 第26回バーチャルリアリティ学会, 1D3-5, 2021.09.12.
5. 学会発表 安藤 将平, **小泉 直也**. ホットミラーによる赤外光反射を用いた空中像インタラクション手法の提案. 第64回 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会, 2022.06.16.
6. 学会発表 木内 舜司, **小泉 直也**. パストレーシングを応用した透明物体内映像の屈折歪み補正. 情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会 第181回研究発表会, 一般セッション2(11), 2021.02.16
7. 学会発表 星 彩水, 木内 舜司, **小泉 直也**. 環境反射空中像装置において迷光を見せないための設計. 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2B3-1, 2020.09.17
8. 学会発表 木内 舜司, **小泉 直也**. 再帰透過光学素子を用いた光学系設計のためのレイトレーシング法によるシミュレーションの応用検討. 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2B3-2, 2020.09.17
9. 特許出願 特願 2022-093116, 空中像インタラクティブ装置, 安藤 将平, **小泉 直也**. 2021.06.08.
10. 特許出願 特願 2021-017987, 空中像生成装置, 歪み補正関数生成方法及び空中像生成方法. 木内 舜司, **小泉 直也**. 2021.02.08.
11. 学術講演 **小泉 直也**. 空中像の原理, シミュレーション及びインタラクション. 画像電子学会セミナー「研究から実用まで, AR/VR ユーザーインターフェースの最新動向」. 2022.06.16
12. 学術講演 **Naoya Koizumi**. Application of mid-air image: Interaction Technology. 映像情報メディア学会 2021年冬季大会 KIBME/ITE Joint Session ~ AR/MR/XR Technology ~. 2021.12.16
13. 学術講演 **Naoya Koizumi**. Simulation of micro-mirror array plates with Blender. The 27th International Display Workshops (IDW '20). 2020.12.11
14. 学術講演 **小泉 直也**. 空中像の作り方・使い方. 情報処理学会第85回全国大会 IPSJ-ONE 2023, 2023.03.04
15. 総説記事 **小泉 直也**. 空中像表示を利用した最新AR/VR研究. 映像情報メディア学会誌, Vol. 76, No. 3, pp.24–28, 2022.
16. 総説記事 **小泉 直也**. 空中像光学系とセンシングシステムの融合について. 画像ラボ. vol. 34, No. 2, pp. 41–45, 2023.
17. 総説記事 **小泉 直也**. 光沢平面上に直立空中像を表示する可搬式光学系. 機能材料. vol. 43, No. 2, pp. 19–25, 2023.
18. 総説記事 **小泉 直也**. 再帰透過光学素子による空中像の設計. 光技術コンタクト. vol.60, No. 9, pp. 28–33, 2022.
19. 雑誌報道 浮遊なるか空中ディスプレイ. 日経エレクトロニクス. vol. 5, 2022.