

現実空間の光源情報を反映した空中像提示

平井 良磨^{1,a)} 井村 誠孝^{1,b)}

概要: 再帰反射素子を用いた空中ディスプレイ技術において実世界の物体に近い自然さやリアリティを高めることは、よりリアルな視覚体験を実現する上で重要な要素である。本研究では、様々な照明環境における空中像の光学的整合性を考慮できるシステムを提案する。空中像カメラシステムにより取得した画像から機械学習によって全天球画像を推定することで、空中像提示位置における現実空間の大域的な光源情報の取得を実現する。推定した画像を利用したイメージベースライティングによる CG モデルのレンダリングにより周囲の光源と一貫性のある空中像を提示する。

1. はじめに

VR・AR 技術の発展に伴い、平面的なディスプレイによる映像にとどまらず、自身が映像内に溶け込むバーチャルな世界や現実世界の環境を映像により拡張した空間で没入感や立体感のあるよりリアルな空間提示が可能になってきている。

空中ディスプレイ技術は、何も無い空間に像を形成しスクリーンの枠にとられない映像を演出する技術であり、光源からの光をそのまま入射方向に反射させる再帰反射方式の空中ディスプレイ [1] などがある。空中ディスプレイ技術はタッチレスレジやデジタルサイネージに導入されている。平面的なディスプレイとは違い、現実空間に映像として提示できる空中像は実物体との融合によるコンテンツとしても期待されている。従来の空中ディスプレイ技術は空中像が周囲の照明状況を反映していないために周辺環境や物体との違和感が生じる。そのため現実物体のような自然さやリアリティの向上が課題として挙げられる。

本研究では、様々な照明環境下においてリアルタイムで光学的整合性を考慮した空中像を実現するシステムを提案する。周囲の環境と一貫性のある空中像の物体表面の陰影表現を再現することで、再帰反射方式による空中像提示においてよりリアリティのある空中像を実現する。

2. 関連研究

光学的整合性とは現実空間の光源分布を考慮しバーチャル物体のレンダリングに適用することで、陰影や影の付き方を違和感なく提示することである。AR・MR における

リアリティを向上する上で重要な要因となる。

空中像の光学的整合性について、山本らは、プロジェクタによる影のプロジェクションを提案し、空中像に対する陰影表現の付加は物体の位置や形状、実在感の知覚に効果を与えられること確認している [2]。矢野らの研究では、空中像に異なる形状の影を投影することにより、影が空中像の形状の知覚にどのような効果を与えるのか調査し、影が空中像の奥行方向の厚みの知覚に影響を与えることを確認している [3]。

従来の研究では、空中像提示の際に影を付加することが立体感や実在感の向上に有効であることを報告しているが、陰影表現の効果は確認できていない。また、あらかじめ想定された照明環境における影を再現するシステムであるため、様々な照明環境下において活用することは難しい。

3. 提案手法

本研究では、様々な照明環境において空中像の光学的整合性を考慮できるシステムを提案する (図 1)。提案システムの処理の流れを図 2 に示す。再帰反射素子の特性を利用した空中像カメラで撮影することで、空中像提示位置における光源情報を画像として取得する。取得した空中像カメラ画像から空中像提示位置における現実空間の大域的な光源情報を得るため機械学習によって全天球画像を推定する。生成された全天球画像を利用したイメージベースライティングにより陰影を付与した CG モデルのレンダリング画像を生成する。生成したレンダリング画像を再帰反射素子に反射させることで光学的整合性を考慮した空中像を提示する。

¹ 関西学院大学

^{a)} hfr55891@kwansei.ac.jp

^{b)} m.imura@kwansei.ac.jp

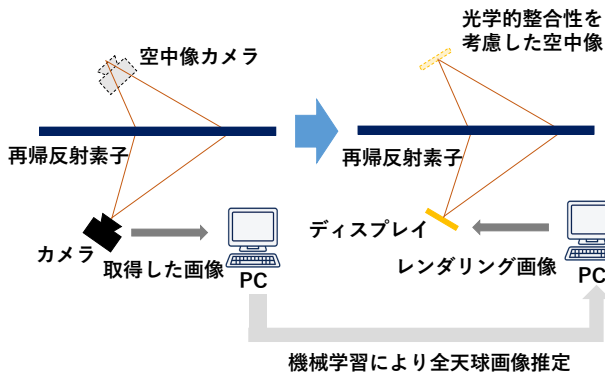


図 1: 提案システム概要

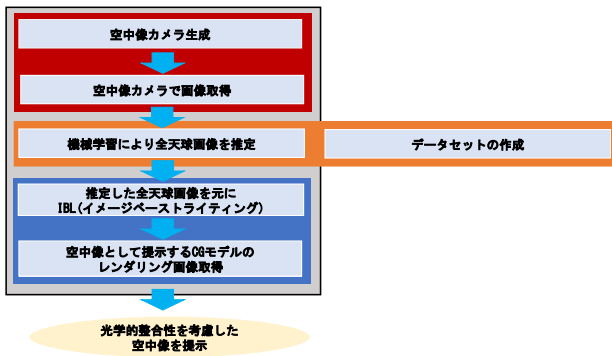


図 2: 提案システムの処理の流れ

3.1 空中像提示位置からの画像の取得

空中像と現実空間との光学的整合性をとるためには、空中像提示位置における光源情報を取得する必要がある。本システムでは、小泉ら [4] が提案した再帰反射素子を利用してカメラ視点位置を光学的に転送する手法を利用する。再帰反射素子が光源からの光線を面对称の位置に再結像する光学系であることを利用し、再帰反射素子にカメラを向けることで、カメラから再帰反射素子に対して面对称の位置にカメラ視点位置が転送できる。この空中像カメラシステムを利用することで、空中像提示位置からの画像を取得する。

3.2 ゴースト像

再帰反射素子は複数個の鏡を平面内に一定間隔でアレイ状に配置したパネル 2 枚を、上下で直交するように作られた光学素子である。上下に直交する 2 つの各パネルに対して光が偶数回反射・屈折した光はゴースト像と呼ばれる。ゴースト像は空中像付近に発生し観察の妨げになる可能性があるため再帰反射方式による空中像生成において課題とされている。本研究では、一般的に障害とみなされているゴースト像を空中像カメラシステムによって生成された空中像カメラとともに撮像手段として利用することで、より広範囲の光源情報の取得を実現する。



(a) カメラ視点位置の転送 (b) システム配置

図 3: 空中像カメラシステム

3.3 大域的な光源情報を得るための機械学習

空中像カメラシステムでは、再帰反射素子が光を反射することで像を生成するため、素子とカメラの相対位置姿勢やカメラの視野角によって撮影できる風景画像の範囲が制限されることから、空中像提示位置における現実空間の大域的な光源情報の取得が困難である。本研究では空中像カメラからの画像にゴースト像からの画像が重畳されている空中像カメラシステムで取得した画像から、機械学習によって全天球画像を推定することで、空中像提示位置における現実空間の大域的な光源情報の取得を実現する。

3.4 空中像として提示する画像のレンダリング

空中像は CG モデルのレンダリング画像をディスプレイに表示し再帰反射素子に反射させることで提示する。全方向の光源情報をキャプチャした画像を光源として用いる 3D レンダリングの手法であるイメージベースライティングに、機械学習で推定した全天球画像を利用することにより、現実空間と光学的整合性の高い CG の画像をレンダリングする。

4. 空中像カメラでの画像取得

3.1 節で述べた再帰反射素子を利用してカメラ視点位置を光学的に転送 (図 3a) する手法を利用して、空中像カメラで撮影した空中像提示位置での画像から全天球画像を推定する機械学習に必要なデータセットの画像を取得するため、空中像カメラシステムを設計した。

再帰反射素子 (ASKA3D プレート, ASUKANET) を水平に置き、下側にレンズ (TAMRON 28-200 mm F2.8-5.6 Di III RXD, TAMRON) を装着したカメラ (α 7III ILCE-7M3, SONY) を配置する。再帰反射素子とカメラは 10 cm 離し、カメラの光軸が ASKA3D プレートに対してなす角が 45 度になるように配置した (図 3b)。ASKA3D プレートによる空中像カメラシステムの光学系において被写界深度の逆転を防ぐためレンズには凹レンズを装着した。

空中像カメラと通常のカメラで撮影できる範囲の違いを比較した画像を図 4 に示す。設計した空中像カメラで撮影した画像は図 4c のようになっており、通常のカメラ (図 4b) で撮影した際の青枠の部分が空中像カメラでも同



図 4: カメラと空中像カメラの比較

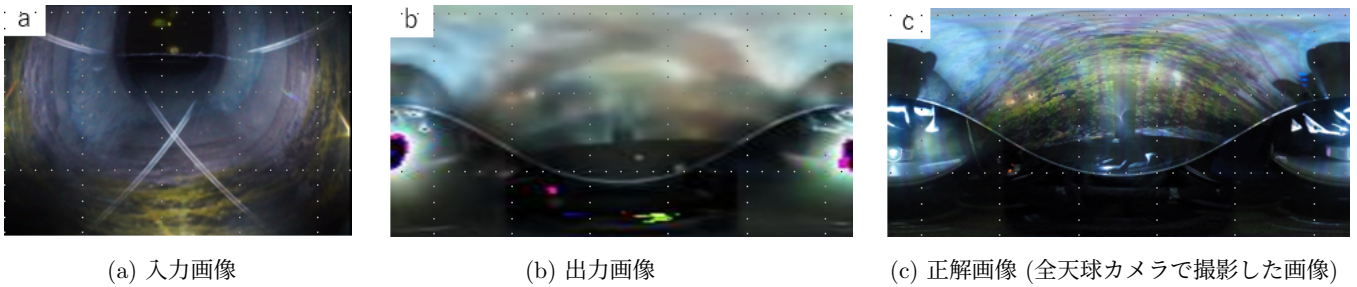


図 5: 空中像カメラで撮影した画像 (a) から機械学習による全天球画像の推定

様に撮影できていることが確認できる。また、通常のカメラでは図 4a の赤枠の部分が見え外となっているが、空中像カメラではゴースト像によって赤枠の部分の情報も撮影できていることから、通常のカメラよりも広範囲の情報を画像として取得できることを確認できた。

5. 機械学習による全天球画像の推定

5.1 データセットの作成

ゴースト像を含めた空中像カメラ画像から、全天球画像を推定する機械学習ネットワークを実現するため、空中像カメラで撮影した入力画像と全天球カメラで撮影した正解画像を 1 セットとする学習データセットを作成した。

空中像カメラと全天球カメラを覆えるように半球ドームを設置し、半球ドームに対して様々な画像を投影し空中像カメラで撮影したものを入力画像、空中像カメラの提示位置と同位置に全天球カメラを設置して撮影したものを正解画像として画像を取得した。空中像カメラと全天球カメラを同時に同位置に配置し撮影することはできないため、空中像カメラが生成される位置に全天球カメラを設置し、空中像カメラで撮影する際の照明環境や位置関係を同様の条件になるようにして撮影することで、入力画像と対応した正解画像である全天球画像のデータ画像を取得した。全天球カメラには RICOH THETA S を使用した。

5.2 全天球画像の推定

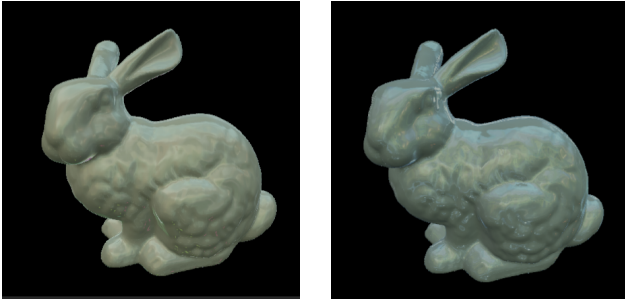
ゴースト像からの映像を含めた空中像カメラ画像を機械学習したネットワークに送り、空中像提示位置で撮影したような全天球画像が出力されることを目標に学習を行っ

た。ネットワーク構造は、Encoder-Decoder 構造をとり、Decoder によるアップサンプリング時に、Encoder の各層で出力される特徴マップを Decoder の対応する各層の特徴マップに別のチャンネルとして連結することで、入力画像の各ピクセルの情報を出力画像に反映できる U-Net 構造 [5] とした。入力は、空中像カメラシステムで撮影した空中像カメラからの画像にゴースト像からの画像が重畳されている $256 \times 256 \times 3$ の画像とし、空中像カメラシステムの視野外領域を含めた空中像提示位置における $256 \times 256 \times 3$ の画像を出力する。学習には 5.1 節で作成した訓練データ 5000 セット、検証データ 1700 セット、テストデータ 150 セットを用いた。実装には Python3.9.13 と機械学習ライブラリの PyTorch を使用した。

学習したネットワークに空中像カメラシステムで取得した画像を入力した結果の例を図 5 に示す。図 5a の画像を入力した結果として、図 5b の画像が出力され、正解画像である図 5c と類似した画像が生成できることを確認できた。

6. 空中像提示

機械学習により推定した画像を元に、イメージベーストライティングを行い CG モデル (bunny) のレンダリング画像を統合型ゲーム開発環境である Unity を用いて作成した。機械学習で出力した画像をライティングに用いたレンダリング画像図 6a と全天球カメラで撮影した画像をライティングに用いたレンダリング画像を図 6b に示す。それぞれの画像を比較し、機械学習で出力した画像をライティングに用いたレンダリングが全天球カメラで撮影した正解



(a) 図 5b の画像をライティングに用いたレンダリング (b) 図 5c の画像をライティングに用いたレンダリング

図 6: レンダリング画像の比較



図 7: 図 6a の空中像

画像をライティングに用いたレンダリングと類似した結果であることを確認できた。機械学習で出力したレンダリング画像 (図 6a) を利用し、空中像として提示したものを図 7 に示す。レンダリング時のライティングを反映した CG が空中像として提示されていることを確認できた。

7. おわりに

本研究では、様々な照明環境における空中像の光学的整合性を考慮できるシステムを提案した。ゴースト像を含めた空中像カメラシステムにより取得した画像から機械学習によって全地球画像を推定することで、空中像提示位置における現実空間の大域的な光源情報の取得を実現し、推定した画像を利用したイメージベースライティングにより、正解画像に似たレンダリングがなされていることを確認できた。

今後の展望として、提案システムにより生成された空中像の評価、現実空間の光源情報をより忠実にレンダリングした空中像提示システムの構築を目指す。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22H03681 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 山本裕紹：再帰反射による空中結像 AIRR(aerial imaging by retro-reflection)；空中ディスプレイの開発と応用展開, pp. 114-121, シーエムシー出版 (2018)
- [2] 山本紘暉, 金ハンヨウル, 小泉直也, 苗村健：複合現実感システムのための空中像に対する影の投影の提案；3次元画像コンファレンス 2014 講演論文集, pp. 51-54 (2014)
- [3] 矢野裕太郎, 星彩水, 小泉直也：影投影による空中像の立体感錯視；第 26 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3B1-5 (2021)
- [4] N. Koizumi, Y. Niwa, H. Kajita, and T. Naemura: Optical design for transfer of camera viewpoint using retrotransmissive optical system; Optical Review, Vol. 27, pp. 126-135 (2020)
- [5] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox: U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation; Proceedings of Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 234-241 (2015)