

MMAPを用いた空中映像と実物体との 位置関係を明瞭にする表現手法の検討

高崎 真由美¹ 水野 慎士¹

概要：マイクロミラーアレイプレート (MMAP) は CG 物体を空中へ表示するために利用され、空中像とのインタラクションの研究が行われている。しかし、MMAP を用いた空中像では、手による直接的なインタラクションにおいて、実際の位置関係にかかわらず常に手が空中像を遮蔽してしまうため、オクルージョン矛盾が生じるという問題があった。著者らは、MMAP を用いた空中像で、CG 物体を立体的に観察しながら手によって直接的な操作が可能な手法を開発した。また、インタラクション中に起こるオクルージョン矛盾を解消するため、正しいオクルージョンを再現するための映像を手でプロジェクターで投影する手法も提案した。本研究では、空中 CG 物体と手の位置関係をより明瞭に表現するための手法を提案する。提案手法では、プロジェクター投影映像の色の濃さを位置関係に応じて変化させる。これにより CG 物体が半透明であるかのように観察することも可能となる。また、CG 物体や手によって生じる影を提示する。これにより、ユーザはより CG 物体と手の明白な位置関係を把握でき、物体の透明度をよりリアルに感じることが可能となる。

A Method for Clearly Representing Positional Relationship between a Mid-air Image using MMAP and Real Objects

MAYUMI TAKAZAKI¹ SHINJI MIZUNO¹

1. はじめに

今日、様々な手法を用いた映像生成手法が提案されている。例えば、AR や VR では、HMD などを用いて映像を提示することで現実空間上に CG 物体が存在しているように観察したり、遠隔地や CG で作られた仮想空間にいるように感じることができる。このような映像を用いた新しい体験に対する期待が高まっている。

また、映像に対するインタラクションの方法についても注目されている。従来では、映像に対する操作にはマウスやタッチパネルを使用する方法が多く用いられてきたが、より直感的な方法でインタラクションを行う手法が提案されている。これにより、映像に対する複雑な操作やより快適な操作の実現が期待されている。

中でも空中像は、ユーザが特別な装置を装着することな

く映像が実空間に存在するように観察することができることに加え、映像に直接手で触れることが可能である。そのため、より直感的な操作の実現が期待でき、様々なインタラクション手法が提案されている。

著者らは、マイクロミラーアレイプレート (MMAP) を用いた空中映像に着目し、運動視差を再現することによる立体視 CG 映像の実現や、それらに対する手による直接的なインタラクションの提案を行ってきた [1]。これにより、ユーザは CG 物体を立体的に観察しながら指先で動かしたりつまみ上げたり描画したりすることができる。また、MMAP を用いた空中映像では、実際の前後関係に関わらず実物体によって CG 物体が遮蔽されてしまうという問題があった。その問題に対し、CG 物体が実物体を遮蔽する場合には、実物体を遮蔽する CG 物体の映像を直接手にプロジェクターで投影することにより正しいオクルージョンを提示する手法を提案した [2]。これにより、ユーザは CG 物体とのインタラクション中に違和感を感じることなく操作が可能である。

¹ 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科
Graduate School of Business Administration
and Computer Science, Aichi Institute of Technology

本研究では MMAP を用いた空中映像で、CG 映像と実物体とのインタラクションにおいて位置関係をより明確に提示する手法を提案する。実現方法として、透明度の提示と影の表示を行った。透明度の提示では、実物体を遮蔽する CG 物体の映像を、ユーザから見て CG 物体の浅い場所に実物体がある場合には色を薄く、深い場所にある場合には色を濃く表示する。影の表示では、CG 物体に CG 空間中の物体や実物体の影を表示する。これにより、前後関係だけでなく、CG 物体と実物体の距離感をユーザに提示することが可能となり、位置関係をより明瞭に示すことができる。また、影を表示させることで、実空間に自然に馴染む CG 物体を表現できる。

2. 関連研究

空中映像とのインタラクションの方法として様々なものが提案されている..

MMAP を用いた空中像とのインタラクションとして、Kim らは、実物体を用いた空中に表示されたキャラクターとのインタラクションを提案した [3]。Matsuura らは、水をすくいあげることによる空中像とのインタラクションを提案した [4]。また、星らは光沢のある紙で作られた絵本と空中像を組み合わせた飛び出す絵本を提案した [5]。これらの研究では、空中像は平面的であり、複雑なインタラクションはできない。

また、空中映像と実物体の間にはオクルージョン矛盾が発生する場合があります、空中映像と実物体の正しいオクルージョンを実現するための手法も提案されている。

Kurz らは、テーブル上に表示した映像が遮蔽すべき実物体に対してプロジェクターで映像を投影する手法を提案した [6]。この手法では、遮蔽すべき実物体の形状が既知である必要がある。

本研究で提案する空中像において、ユーザは特別なデバイスを必要とせずに CG 物体を立体的に観察することができる。手による直接的なインタラクションも可能で、CG 物体をつまみ上げたり、描画したりすることができる。また、インタラクション中に生じる CG 物体と手のオクルージョン矛盾をプロジェクターで手に映像を投影することによって解消し、より位置関係を明白にするため、位置関係に応じた投影映像の色濃度変化と CG 物体と手に対する影の表示を行う。

3. 手法

3.1 システム概要

図 1 にシステム構成を示す。これは、著者らの先行研究と同様の構成である [2]。

MMAP とその下に設置された液晶ディスプレイは空中像を表示するために用いられる。ユーザの正面に設置された Kinect は、ユーザの視点を追跡する。このシステムで

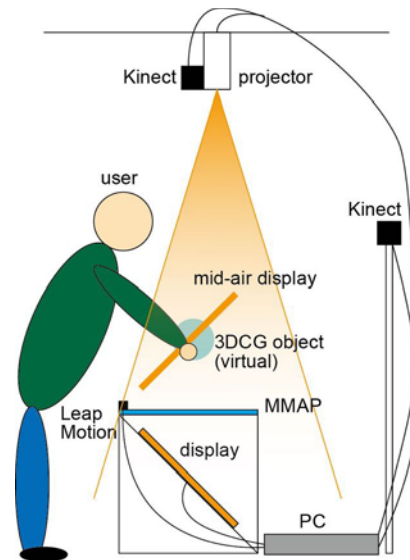


図 1 システム構成

は、ユーザの視点位置に応じた 3DCG 映像を生成し空中に表示する。これにより、空中像に運動視差が再現され、ユーザは CG 物体が実際に空中に存在しているように感じられる。

ユーザの頭上に設置された Kinect は、ユーザの手を 3 次元的にスキャンしており、ユーザの手の 3 次元モデルを生成するために使われる (図 2(a))。この手の 3 次元モデルは、空中の CG 物体と同じ CG 空間に配置され (図 2(b))、ユーザ視点からレンダリングすることで CG 物体と手の正しいオクルージョンを再現することができ (図 2(c))、オクルージョン矛盾が生じている箇所を把握することができる (図 2(d))。生成した映像は、オクルージョン矛盾を解消するためのプロジェクター投影映像の生成のために使われる (図 2(e))。

Leap Motion は、ユーザの指の 3 次元位置を取得し、CG 物体を移動させたり、描画したりするなどの手によるインタラクションを実現するために使われる。

以上のことから、図 3 に示すように、ユーザは空中 CG 物体を立体的に観察しながら、オクルージョンを正しく把握し、手で直接操作することができる。

3.2 プロジェクター投影映像の色濃度変化

MMAP による空中像は、半透明に表示され、また CG 物体は、ミストのような透明な素材でできているように観察される。

ミストや透明な液体に手を入れたとき、手は深さによって色が変わる。したがって、本研究では従来手法で生成したオクルージョン矛盾解消のための投影映像を手と CG 物体の位置関係によって手を遮蔽する CG 物体の色の濃度が変わるように改善する。

提案手法の概要を図 4 に示す。図 4(a) のように、ユーザ

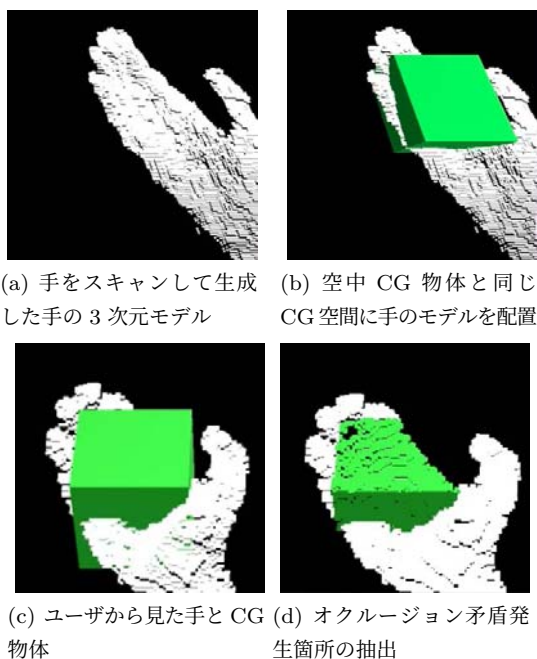


図2 オクルージョン矛盾解消のためのプロジェクター投影映像生成

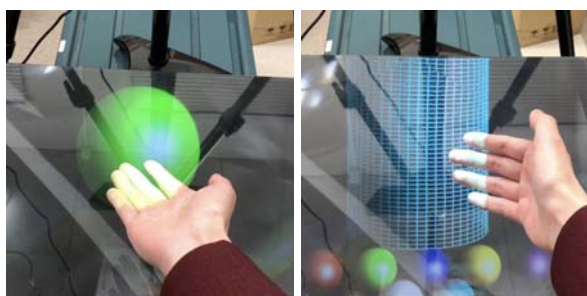
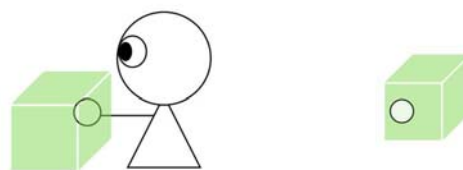


図3 インタラクション中の適切なオクルージョン提示

から見て手がCG物体の浅い場所にある場合には手に対する投影映像のCG物体の色が薄くなるようにする。図4(b)のように、ユーザから見て手がCG物体の深い場所にある場合には手に対する投影映像のCG物体の色が濃くなるようにする。これにより、手とCG物体の位置関係に応じたCG物体の色濃度の変化を実現することができる。そのため、ユーザは手とCG物体の位置関係をより明確に視認することが可能となる。

プロジェクター投影映像用のCG映像は、3.1節で述べた従来手法と同様に生成する。提案手法では、CG物体をボリュームレンダリングの手法を用いてレンダリングす

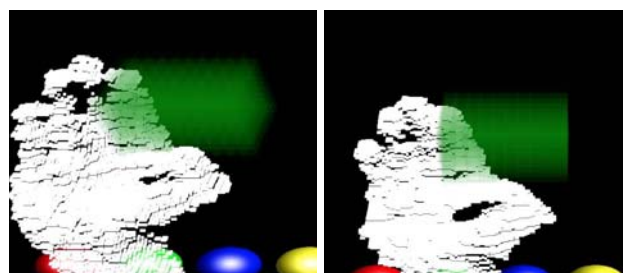


(a) 手が浅い場所にある場合

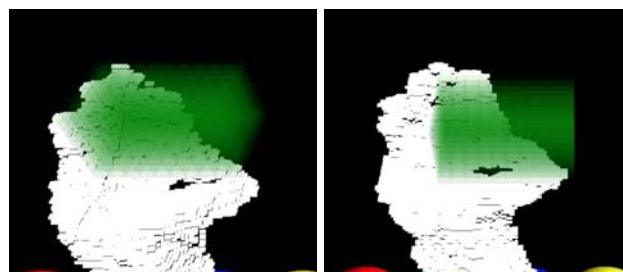


(b) 手が深い場所にある場合

図4 投影映像の色濃度を変化させる手法の概要。左：横から見た場合。右：ユーザ視点から見た場合



(a) 手が浅い場所にある場合



(b) 手が深い場所にある場合

図5 ボクセルを用いたレンダリングにおける投影映像の色濃度変化。左：横から見た場合。右：ユーザ視点から見た場合

る。これにより、空中物体はボクセルの集まりで表現され、それぞれのボクセルは透明なオブジェクトとして表示される。結果として、手の3次元モデルは、位置関係に応じて色の濃さが変わるように見える。例えば、ユーザ視点から見て手がCG物体の浅い場所にある場合には、図5(a)に示すようにCG物体は色が薄く見え、ユーザ視点から見て深い場所にある場合には、図5(b)に示すようにCG物体は色が濃く見える。このようにレンダリングした映像をオクルージョン矛盾を解消するための映像生成に用いてプロジェクターから手に投影する。

これによりユーザは、手に投影された映像の色変化から

CG 物体との位置関係を把握することができる。また、ボクセルの透明度を変化させることで、空中 CG 物体の透明度を変化させることも可能である。

3.3 空中 CG 物体と手の影の適用

影は、物体との位置関係を知るために重要な要素の一つである。よって、本研究では、従来手法を改善し、空中 CG 物体とユーザの手に影を投影する。

このシステムでは、シャドウマッピングを用いて影を生成する。照明位置は任意に設定することが可能であるが、ここではプロジェクター位置と同じ位置にあるとする。

空中 CG 物体は、手の 3 次元モデルによって生成される影を考慮してレンダリングされる。ユーザの手が CG 物体より上にある場合、手の 3 次元モデルのシャドウマップを元にして CG 物体に影が表示される。

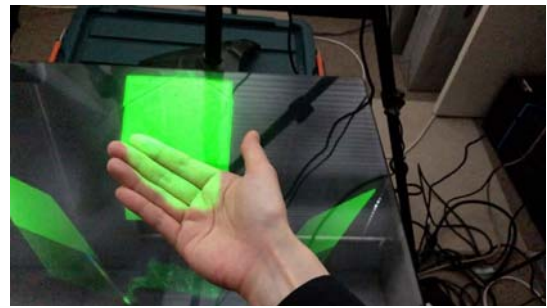
オクルージョン矛盾解消のためのプロジェクター投影映像では、空中 CG 物体による影を考慮してレンダリングする。映像は、3.1 節で述べた手法を用いて手の 3 次元モデルは空中 CG 物体による影とともにレンダリングされる。同時に、生成する映像の背景と手の 3 次元モデルを少し明るい色にすることによって影の部分をより明確に視認できるようにする。

4. 実装と実験

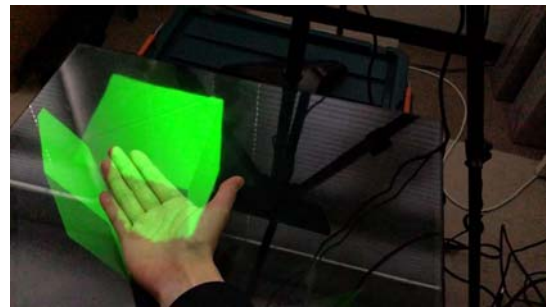
提案手法の実装と実験を行った。使用した MMAP は一辺が 50cm の正方形で、MMAP の下に設置された液晶ディスプレイは 15 インチのフル HD モニターである。このシステムは 2 つの PC と C++ を用いて実装されている。一つの PC (Mac Book Pro) では Kinect でユーザの視点を追跡するために用いられる。その取得した座標は、UDP 通信でもう一つの PC (iMac) に送信される。iMac では、空中に投影される映像とプロジェクター投影用の映像を OpenGL で生成する。プロジェクターは Vivitek QUMI Q6(1280 × 720) を用いた。

図 6 にオクルージョン矛盾解消のための投影映像で CG 物体の色濃度を変化させた結果を示す。図 6(a)(b) は従来手法を用いた場合である。従来手法においては手と CG 物体の位置関係にかかわらず投影映像における CG 物体の色は同一であり、手と CG 物体の位置関係が把握しづらい。図 6(c)(d) は提案手法を用いた場合の結果である。提案手法において投影映像は、手と CG 物体との位置関係によって適切に色が変化した。これにより、CG 物体と手の位置関係をより明白に把握することができる。また空中 CG 物体が半透明な物体であるように観察でき、その透明度を調節することも可能である。図 7 に球体に対して提案手法を適用した結果を示す。

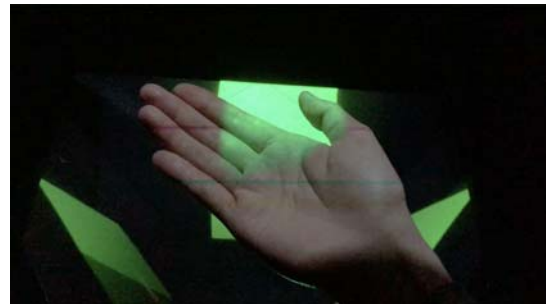
図 8 に CG 物体と手の影を生成した様子を示す。図 8(a)(b) は従来手法を用いた場合の結果である。手や CG



(a) 従来手法:手が浅い場所にある場合



(b) 従来手法:手が深い場所にある場合



(c) 提案手法:手が浅い場所にある場合



(d) 提案手法:手が深い場所にある場合

図 6 オクルージョンを補完する映像の色濃度変化

物体に影が映ることはなく、位置関係が把握しづらい。図 8(c)(d) は提案手法を用いた場合の結果である。図 8(c) に示すようにユーザの手が CG 物体の上にある場合には、CG 物体に手の影が表示される。図 8(d) に示すようにユーザの手が CG 物体の下にある場合には、CG 物体の影がオクルージョンを補完する映像とともに手に投影される。この影は、手による直接的なインタラクションにおいて、CG 物体と手の位置関係を把握するために有用である。

図 9 に手で CG 物体をつまみあげている様子を、図 10 に指先で 3 次元物体を描画する様子を示す。

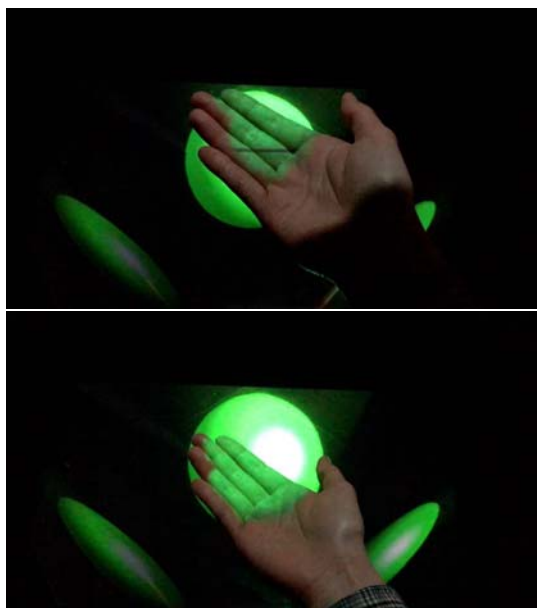


図 7 球体での映像の色濃度変化

5. まとめ

本研究では、MMAP を用いたインタラクション時に発生する手と CG 物体のオクルージョン矛盾を解消する従来手法の改善を提案した。提案手法では、位置関係に応じてプロジェクター投影映像の色濃度を变化させ、影を表示させた。これにより、従来手法より明白に CG 物体と手の位置関係を把握することができ、より直感的な操作が可能である。

今後の課題として、手の色を考慮した映像投影が挙げられる。また、提案した手法では半透明な物体に対するリアルな影の生成ができていない。これを改善することで、より違和感の少ない CG 物体の観察が可能になると考えられる。加えて、周囲の環境を CG 物体に反映させる環境マッピングを適用することで金属のような質感を持つ CG 物体の表現が可能になる。それにより手と CG 物体の位置関係をより明白に表現することができる可能性がある。

参考文献

- [1] 高崎真由美, 水野慎士: 空中への運動視差立体視 CG 映像の投影と手による直接的なインタラクションの提案, 情報処理学会インタラクション 2019 論文集, 2C-61, pp. 669-673, 2019.
- [2] 高崎真由美, 水野慎士: 空中立体映像システムでの空中 CG 物体による実物体の遮蔽の再現法の提案, 情報処理学会インタラクション 2020 論文集, 2C-61, pp. 707-711, 2020.
- [3] H. Kim, I. Takahashi, H. Yamamoto, S. Maekawa, T. Naemura: "MARIO: Mid-air Augmented Reality Interaction with Objects", J. of Entertainment Computing, Vol. 5, Issue 4, pp. 233-241 (2014).
- [4] Y. Matsuura, N. Koizumi: "FairLift: Interaction with Mid-air Images on Water Surface", SIGGRAPH 2018 Emerging Technology (2018).
- [5] 星彩水, 木内舜司, 小泉直也: PicPop: 空中像を用いた飛び出す絵本の提案, 情報処理学会インタラクション 2021 論文集, 1B-01, pp. 189-192, 2021.
- [6] D. Kurz, K. Kiyokawa, H. Takemura: Mutual Occlusions on Table-top Displays in Mixed Reality Applications, Proc. of ACM VRST 2008, pp. 227-230, 2008.



(a) 従来手法:手が CG 物体の上にある場合



(b) 従来手法:手が CG 物体の下にある場合



(c) 提案手法:手が CG 物体の上にある場合



(d) 提案手法:手が CG 物体の下にある場合

図 8 手と CG 物体による影の生成

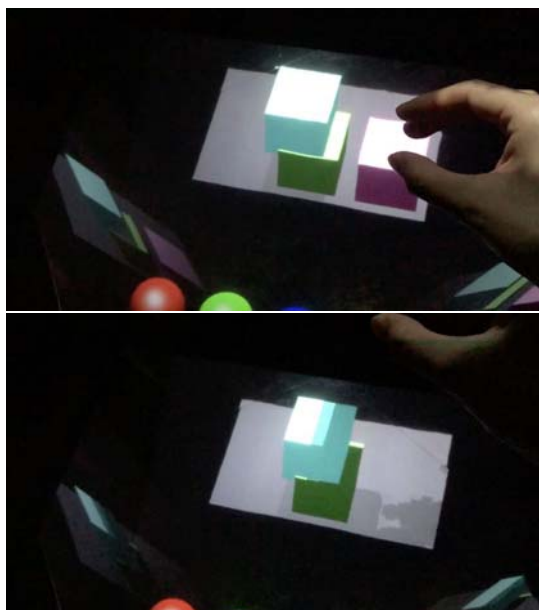


図 9 手によって CG 物体をつまみ上げる様子



図 10 3 次元物体の描画