

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

高崎 真由美^{1,a)} 水野 慎士^{1,b)}

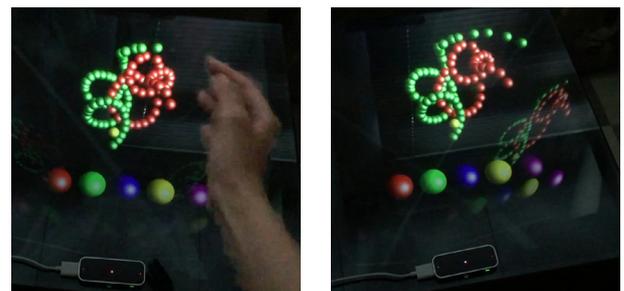
概要：本研究では、空中に運動視差による立体視三次元CG映像を投影しながら、その映像に対して手による直接的なインタラクションを実現するシステムを提案する。マイクロミラーアレイプレート等を用いた空中ディスプレイで表示したCG映像とインタラクションを実現するシステムは従来より提案されているが、表示される映像は平面的であった。本研究で提案するシステムでは、ユーザの視点位置に応じた映像をリアルタイムで生成することで、立体知覚に重要な運動視差を再現しながら三次元CG物体を空中に表示する。そして、ユーザの指先位置に応じて三次元CG物体の移動、変形、生成を行う。システムを実装した実験では、空中に立体的に表示された三次元CG物体を指で直接触れながら様々な操作が行えることを確認した。

1. はじめに

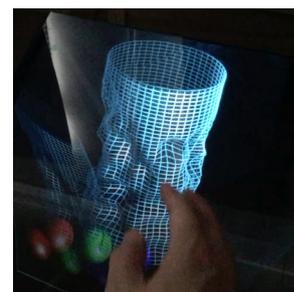
映像生成に関する技術や機器の進歩に伴い、三次元CGを様々な方法で観察したり対話操作したりすることができるようになった。例えば、VRやARに対応したHMDを使用することで、仮想空間に入り込んで三次元CGを直接操作したり実空間に三次元CGが実在するように重畳表示することが可能となってきている。

その中でも、本研究ではマイクロミラーアレイプレートを用いた空中への映像表示に着目する[1]。マイクロミラーアレイプレートを用いることで、HMDを装着することなく実空間に映像が存在するように観察することが可能である。そして、その映像とのインタラクションを行う手法もいくつか提案されている。しかし、空中に三次元CG物体の映像を表示した場合でも、映像は空間中の平面に投影されているように観察されて、三次元CG物体がその場に立体的に存在するような感覚を得るのは困難であった。

そこで、本研究ではマイクロミラーアレイプレートを用いながら、三次元CG物体の映像を空中に立体的に表示する手法を開発する。これにより、三次元CG物体が実際に実空間に存在するように立体的に観察することが可能となる。そして、空中に表示された三次元CG物体に対して指で直接操作する手法も開発する。本研究の実現により、ユーザは空中に表示された三次元CG物体を立体感を感じ



(a) 指による空中への三次元的お絵描き (b) 異なる視点からの三次元的お絵描き観察



(c) 指による三次元CG物体の変形

図1 提案システムによる操作の例

て様々な位置から観察しながら、指で直接触れて変形させたり、空間中で三次元的に移動させたりすることが可能となる。また、空間中に三次元的なお絵描きをすることも可能となる。図1にシステムを使用している様子を示す。

2. 関連研究

空中に映像を表示しながら、映像とインタラクションを

¹ 愛知工業大学 情報科学部

^{a)} k16065kk@aitech.ac.jp

^{b)} s_mizuno@aitech.ac.jp

行う手法はいくつか提案されている。

Kimらは、マイクロミラーアレイプレートと上下移動するディスプレイを用いて、空間中のCG映像とインタラクションを行う手法を開発した [2]。このシステムでは、テーブル上に置いたブロックを用いて空間中の様々な三次元位置にCG映像を表示させることが可能であるが、表示されるCG映像は平面として存在する。

松浦らは、Kimらと同様に機構を用いながら映像を水面上に反射させることで、水面上の空中に存在するCG映像と水を介してインタラクションを行うシステムを開発した [3]。このシステムでは、水をすくうことで水と一緒に空中映像を様々な位置に移動させることが可能である。ただし、このシステムでもCG映像は平面的に表示される。

木村らは、LEDを三次元的に配置した回転円盤によって生成された立体映像をマイクロミラーアレイプレートで空中に表示しながら、指の動きに応じてLEDの点灯を制御して立体映像を変化させることで空中映像とのインタラクションを実現するシステムを開発した [4]。ただし、表示される映像はLEDの残像による単純なものに限られており、インタラクションの内容も映像を少し変化させるなど限定的である。

Jonesらは、異方性ホログラフィック拡散フィルタを貼った鏡を高速に回転させながらプロジェクタで映像を投影することで、360度のあらゆる方向から三次元CG物体を立体的に観察しながらインタラクションを行うことができるシステムを開発した [5]。ただし、手などで映像を直接触れてインタラクションすることはできない。

Ochiaiらは、レーザーでプラズマ化した空気電子による光点を用いて空中にCG映像を表示するとともにインタラクションを実現するシステムを開発した [6]。映像は空中に立体的に表示されて、手で直接触れることによるインタラクションも可能である。しかし、表示される映像は極めて小さく、インタラクションの内容も表示物体が変化したり少し動いたりするなど限定的である。

本研究で提案する手法は、空中に三次元CG物体を立体的に表示することが可能である。そして、その映像に対して指で直接触れながら、三次元CG物体の変形、移動、生成など様々なインタラクションを三次元的に行うことができるという、従来システムにはない特徴を持つ。

3. 提案手法

3.1 システム構成と概要

本研究で開発するシステムの外観と構成を図2に示す。システムはマイクロミラーアレイプレート、ディスプレイ、Kinect、Leap Motion、制御用PCで構成されている。マイクロミラーアレイプレートはボックス上に設置されており、ボックス内にディスプレイが設置されている。ユーザはシステムのボックス前に立って一人で使用する。

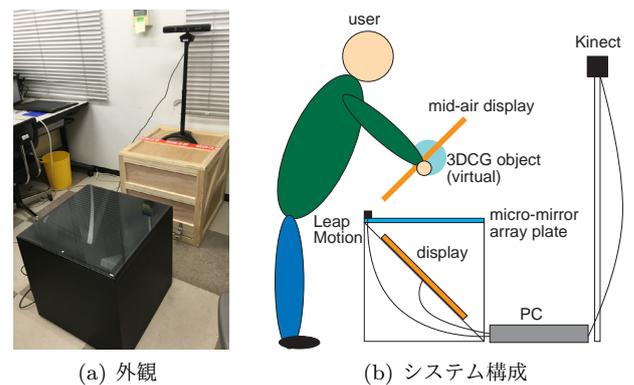


図2 提案システム

三次元CG物体はマイクロミラーアレイプレート上の空中に表示される。このとき、ユーザの視点位置に応じて三次元CGの見え方を適切に変化させることで運動視差を再現する。これにより、ユーザは空中に表示された三次元CG物体を立体感を感じながら観察することができる。

そして、空中に表示された三次元CG物体を指で触れるように直接操作することができる。物体に対する操作としては、変形、移動、生成などである。例えば、円筒状のCG物体の表面を指で触ると、表面形状に凹凸を与えることができる。また、空中に浮かぶ三次元CG物体を様々な方向から指で押すと、空間中で物体を三次元的に移動させることができる、さらに、空間中で指を動かすと、指先を使って三次元的な線を描くこともできる。

3.2 空中への映像表示

本研究のシステムで用いるマイクロミラーアレイプレートは、垂直に並べたマイクロミラーで構成されたプレートをミラーが直交するように2層に重ねた構造となっている。

マイクロミラーアレイプレートは、実物体の映像をプレートに対して面对称の位置に結像する性質を持つ。例えば、マイクロミラーアレイプレートを水平に置いて、その下に実物体を置けば、実物体と面对称の空間中に実物体が存在するように観察される。そして、実物体としてディスプレイを置いて、そのディスプレイに映像を表示させれば、マイクロミラーアレイプレートに対してディスプレイと面对称の空間中の位置にディスプレイ映像が表示されているように観察される。

本研究では、図2(b)に示すようにマイクロミラーアレイプレートの下部にディスプレイを傾けて設置する。それにより、ディスプレイが仮想的にはマイクロミラーアレイプレート上の空間中に浮かんで存在することになり、ディスプレイに表示された映像も空間中に浮かんで観察される。

3.3 運動視差立体視CG

運動視差は、立体物を観察するとき観察者または立体物が移動することで生じる見え方の変化である。図3に示

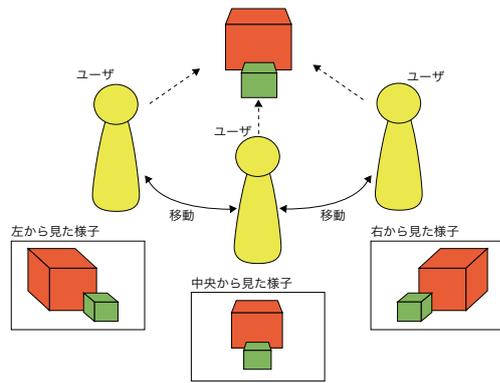


図 3 運動視差

すように、運動視差では観察者の移動に伴って今まで見えなかった部分が見えるようになっていたり、近くの物体が遠くの物体に比べて見え方が大きく変化する。運動視差は人の立体知覚にとって非常に大きな手がかりであり、運動視差のみで三次元形状と奥行きに関する十分な情報が得られることが知られている [7]。

そして運動視差立体視 CG は、ユーザーの視点に合わせて CG 映像を変化させて運動視差を再現することで立体視を実現したものである。運動視差立体視 CG は専用のディスプレイやメガネ等は不要で、三次元 CG 物体が実際にその場に存在するように観察したり操作することができる [8][9]。

本研究では、文献 [9] の手法に基づいて運動視差立体視 CG を実現する。まず、Kinect で取得したユーザーの頭部位置に基づいてユーザー視点の三次元位置を取得する。そして、実空間を再現した CG 空間を構築して、CG 映像をリアルタイムで生成する。具体的には、Kinect の設置位置に基づいて実空間の座標系を構築して、ユーザー視点、空中の仮想的ディスプレイ、表示物体のそれぞれの三次元座標を得る。この座標に基づいて、CG 生成用視点、CG 投影面、三次元 CG 物体を配置した CG 空間を構築して CG 映像を生成する。このように生成した三次元 CG 映像を仮想ディスプレイに表示してユーザー視点から観察すると、トロンプ・ルイユの原理で立体感が感じられるのに加えて、ユーザーの移動に応じて三次元 CG 物体の見え方が適切に変化して運動視差が再現される。以上のことにより、ユーザーは三次元 CG 物体が空中に実在するように立体感を持って観察することができる。

3.4 インタラクション

空中に表示された三次元 CG 物体とのインタラクションは、ユーザーが CG 物体を指で直接触れることによって行う。

ユーザーの指先の三次元位置は Leap Motion によって取得する。取得した座標は CG 空間の三次元座標に変換する。そして、指先の三次元座標に基づいて三次元 CG 物体の変形、移動、生成などのインタラクションを実現する。

変形対象となる三次元 CG 物体の形状は頂点格子で構成されている。そして、指先の三次元座標と三次元 CG 物体の各頂点との距離に基づいて接触判定を行い、接触と判定された頂点を指先座標から離れる方向に移動させる。また、三次元 CG 物体の移動も指先座標と物体頂点との接触判定に基づいており、接触と判定された場合に物体頂点全体を移動させる。

物体の生成は、指先座標に基づいて三次元 CG 物体を配置することで実現する。例えば、三次元 CG 物体として小さな球を用いて、指先座標に球を連続的に配置することで、指の移動によって空間中に三次元的な線状物体を生成することが可能である。

3.3 節で述べたように、CG 空間は実空間を再現したものになっている。そのため、ユーザーの指先座標に基づいて三次元 CG 物体の変形、移動、生成を行った場合、ユーザーからは自身の指で三次元 CG 物体に直接触れながらインタラクションを行っているように観察される。

4. 実験

提案したシステムを実装して実験を行った。使用したマイクロミラーアレイプレートは一辺が約 50cm の正方形の大きさで、設置したディスプレイは 15 インチのフル HD モニタである。MacBookPro 上に C++ で実装しており、三次元 CG 映像の生成には OpenGL を用いている。

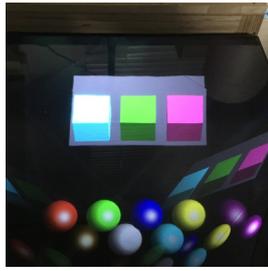
図 4 にシステムによって表示された CG 物体を異なる視線から観察している様子を示す。運動視差の考慮の有無に関わらず三次元 CG 物体は空中に存在するように観察されるが、運動視差を考慮しない場合には視点移動によって三次元 CG 物体が平面に投影されていることが明確に感じられた。一方、運動視差を考慮した場合には、空中に浮かんで表示された三次元 CG 物体の見え方が視点移動に応じて適切に変化して、実際に存在するように立体感を持って観察された。

図 5 に空中に表示された三次元 CG 物体を指で触れて直接的に変形しながら、異なる視点から観察している様子を示す。指が三次元 CG 物体に触れることで、CG 物体がまるでそこに実在するように指で押されたり引っ張られたように立体的に変形させることを実現した。

図 6 に空中に表示された三次元 CG 物体を指で触れて直接的に移動する様子を示す。指で三次元 CG 物体に様々な方向から押すと、指の方向に応じて CG 物体が押されて三次元的に移動することが確認された。

図 7 に空中に指で三次元的な絵を描画しながら、異なる視点から観察している様子を示す。指の移動に伴って指先から次々と球が発生して配置されていき、自分の指で空中に絵を描くような感覚が得られた。

図 8 に提案システムで空中に立体的に表示した三次元 CG 物体に対して指で直接的にインタラクションを行った



(a) オリジナル視点からの観察



(b) 運動視差を考慮しない場合の移動視点からの観察



(c) 運動視差を考慮した場合の移動視点からの観察

図 4 システムで再現した運動視差による CG 物体の見え方の変化

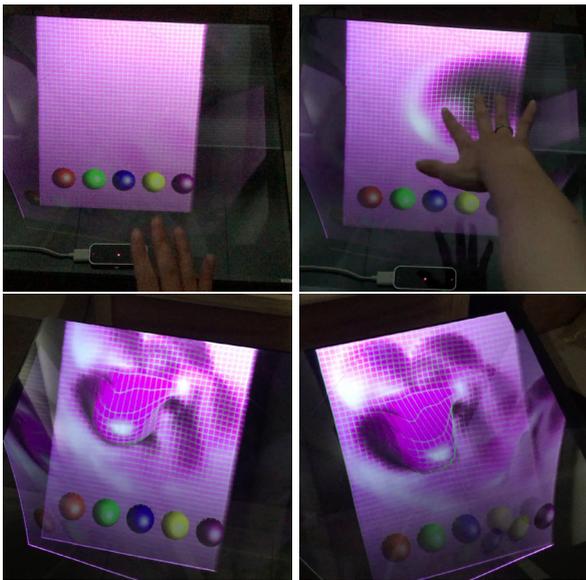


図 5 空中に表示された三次元 CG 物体の指による直接的な変形と異なる視点からの観察

例を示す。図 8(a) では、円筒を横から押して変形しており、空中に立体的に表示した三次元 CG 物体に対してならではのインタラクションとなっている、このように、提案システムの特徴を生かした様々なインタラクションの可能性があると思われる。

5. まとめ

本研究では、マイクロミラーアレイプレートを用いた空中への映像表示と運動視差立体視 CG を組み合わせることで、空中に立体的に映像を表示する手法を開発した。また、空中に立体的に表示された三次元 CG 物体と指で直接

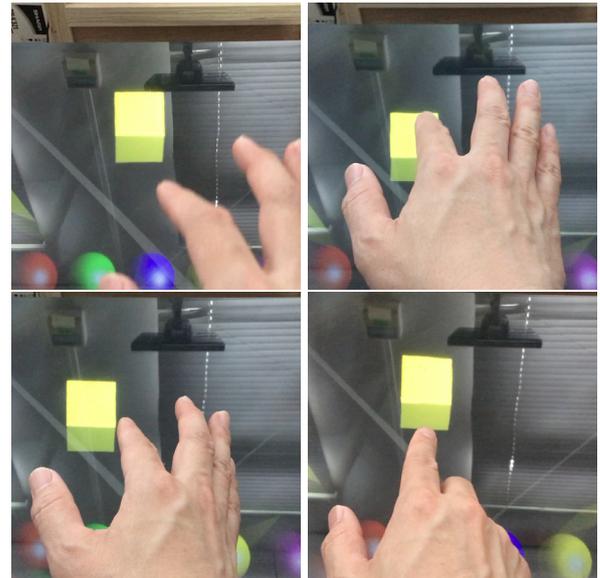


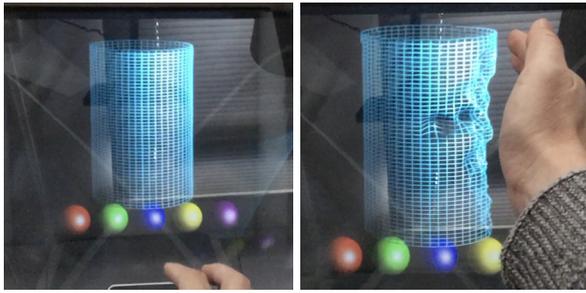
図 6 空中に表示された三次元 CG 物体の指による直接的な移動



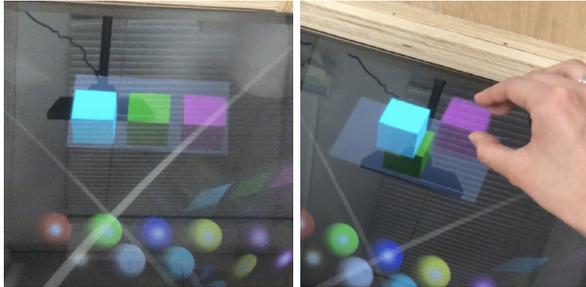
図 7 指による三次元的な絵の描画と異なる視点からの観察

的にインタラクションを行う手法を開発した。システムを実装した実験では、三次元 CG 物体が実際に空中に存在するように立体的に観察されて、空中の三次元 CG 物体を指で直接触れながら三次元的に変形、移動、生成が行えることを確認した。従来、このような三次元 CG 物体の表示とインタラクションは透過型 AR 用 HMD などの装着が必要であったが、本研究のシステムでは HMD 等の装着がなくても同様の表示やインタラクションを実現していると思われる。

今後の課題としては、より複雑なインタラクションの実現、両眼視差立体視への対応、提案システムを応用した実用アプリケーションの開発などが挙げられる。



(a) 円筒の変形



(b) ブロックを挿んで移動



(c) 曇ったガラスの拭き取り

図 8 空中に立体的に表示した三次元 CG 物体との様々なインタラクション

参考文献

- [1] “ASKA 3D”, <https://aska3d.com/ja/> (参照 2018-12-23).
- [2] 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.
- [3] Y. Matsuura, N. Koizumi: FairLift: Interaction with Mid-air Images on Water Surface, *Proc. of SIGGRAPH 2018 Emerging Technology*, 2018.
- [4] 木村優太, 牧野泰才, 篠田裕之: 空中超音波による触覚フィードバックを有するインタラクティブ立体映像システムの開発, 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 34C-02, 2016.
- [5] A. Jones, I. McDowall, H. Yamada, M. Bolas, P. Debevec: Rendering for an Interactive 360° Light Field Display, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 26, Issue 3, Article No. 40, 2007.
- [6] Y. Ochiai, K. Kumagai, T. Hoshi, J. Rekimoto, S. Hasegawa, Y. Hayasaki: Fairy Lights in Femtoseconds: Aerial and Volumetric Graphics Rendered by Focused Femtosecond Laser Combined with Computational Holographic Fields, *Proc. of SIGGRAPH 2015 Emerging Technology*, 2015.
- [7] B. J. Rogers, M. Graham: Motion Parallax as an Independent Cue for Depth Perception, *J. of Perception*, No. 8, pp. 125–134, 1979.
- [8] 原田一馬, 菅野祐介, 佐藤洋一: 運動視差を用いた直感的なマルチタッチインタラクション, *インタラクション 2012 論文集*, pp. 795–800 (2012).
- [9] 塚田真未, 川島卓也, 水野慎士: 運動視差を用いた立体視 CG システムの構築と科学館での活用の検討, *情報処理学会研究報告, デジタルコンテンツクリエイション*, 2013-DCC-4, No. 3, 2013.