

大画面ハーフミラーによる没入型拡張現実環境の構築と オクルージョン表現

村瀬香緒里^{*1} 小木哲朗^{*1} 齋藤康太^{*2} 小山尚英^{*2}

Immersive Augmented Reality Environment Using Large Semi-transparent Mirror and the Representation of Correct Occlusion Effect

Kaori Murase^{*1}, Tetsuro Ogi^{*1}, Kota Saito^{*2} and Takahide Koyama^{*2}

Abstract --- This paper proposes an immersive augmented reality display system, named "AR View", that generates a high presence augmented reality environment using the immersive projection technology. In this system, the stereoscopic image of virtual objects projected onto a floor screen by stereo projectors and real objects placed in front of or behind a highly transparent mirror film are combined optically, using the mirror placed at an angle of 45 degrees to the floor. In order to create correct occlusion effect in over large area of the augmented reality environment, light projectors have been used to illuminate the surface of real objects using the occlusion shadow function rather than standard light bulbs. The AR View was applied to various applications such as the high presence communication using a video avatar by connecting it to a broadband network.

Keywords: Immersive augmented reality, Half mirror, Occlusion, Three-dimensional displays

1 はじめに

1.1 研究の背景と目的

拡張現実感(Augmented Reality)技術は新しい表現や情報提示の効果を与える技術として、エンタテインメントの分野[1]や医療分野における手術支援[2]などさまざまな分野で研究が行われている。

この拡張現実感で利用されるディスプレイ技術は、これまで光学シースルーやビデオシースルーを用いた透過型HMD(Head Mounted Display)が主要であった[3]。しかし、透過型HMDではディスプレイの重量やサイズなどの人間に対する制限や、ユーザが視線方向を移動させたときに生じるセンサによる視線方向計測に基づく映像提示の時間遅れなどが問題となっている[4]。

これに対して、VRの分野では近年CAVEやCABINに代表される没入型プロジェクションディスプレイが臨場感の高い仮想空間を提示できる装置として広く利用されるようになり、さまざまな研究が行われている[5][6]。没入型プロジェクションディスプレイは、HMDのような重量の大きい装置を頭部に装着する必要はなく、視線方向計測に起因する映像提示の遅延の影響も小さい。し

かし、これらのディスプレイは大画面スクリーンを用いて利用者の周囲を覆い、利用者の周りの現実環境を隠してしまうため、そのまま拡張現実感システムに適用することはできない。

以上を踏まえた上で、本研究では主に拡張現実感技術を用いた新しい表現の舞台や展示、臨場感のあるコミュニケーション環境として利用することを目的とし、大画面ハーフミラーフィルムを用いた広視野の没入型拡張現実感ディスプレイシステムARViewを開発した。

本研究で提案するディスプレイシステムARViewは、透過性の高いフィルム型ハーフミラーを用いることによりプロジェクタによって投影された仮想環境の映像と、ハーフミラーの前後の現実環境を、ディスプレイ面を意識させずに光学的に融合したシーンとして提示することができる。また、大画面ハーフミラーを使用することによりユーザの視覚を広い範囲でカバーしているため、高臨場感の没入型拡張現実環境を構築できることが特徴である。

また、仮想物体を、視差情報を用いた立体視映像として表示することによって仮想環境と現実環境を3次元的に融合した拡張現実環境を提示することができる。さらに本研究では、このディスプレイシステムを広帯域ネットワークに接続することで、遠隔地間で広視野の拡張現実環境を共有した高臨場感のコミュニケーションに応用することも目的としている。

*1 筑波大学システム情報工学研究科

*2 株式会社スピ

*1 Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba,

*2 Spin Inc.

また、一般にハーフミラーを用いた光学式の AR システムを用いた場合、仮想物体と現実物体の間のオクルージョン表現に問題が生じる。本システムではこの問題を解決するために照明プロジェクタ[13][14]を使用し、広視野の没入型拡張現実環境内のオクルージョン表現を実現した。

1.2 関連研究

これまでに提案されているプロジェクタや液晶ディスプレイを使用した、空間型の拡張現実感技術としては、透明スクリーンやハーフミラーを用いる方法や、現実環境の物体をスクリーンとして利用する方法があげられる。

透明スクリーンを用いる方法としては HoloPro Screen[7]があるが、スクリーンの透明度が小さく、投影された映像は指向性を持つため、利用者の視点移動範囲が制限されるという問題がある。

これに対して、本研究では大型のハーフミラーを用いることで視点位置の制限を解決している。

現実環境の物体をスクリーンとして用いる方法としては Shader Lamps[8]がある。この手法はプロジェクタによって立体的な現実物体に映像を投影することで、物体に任意のテクスチャを与えることができるというものであるが、投影できる映像は壁面の形状や色による依存するため、このシステムのみでは提示できる映像に制限が生じる。本論文では、メインディスプレイをハーフミラーによって提示する映像とし、照明プロジェクタの拡張機能として Shader Lamps に類似した効果も同時に与えることで、Shader Lamps の利点を応用することを提案している。

ハーフミラーを用いた拡張現実感ディスプレイとしては、Virtual Showcase[9]や Extended Virtual Table[10]、EON I-Crystal[11]、鏡を模倣したディスプレイ指向の情報環境である i-mirror のディスプレイ[12]がある。これらのシステムはデスクトップのシステムであり、透過率も高くないためフレームやディスプレイ面を意識させる。そのため、ユーザの視界を覆い、ディスプレイを意識させないような没入感を生成することは困難である。これに対して本研究では大型で透過率の高いフィルム型ハーフミラーを用いることで没入感を生成している。

2 システム構成

2.1 システムの配置と基本構成

図 1 に本研究で開発した没入型拡張現実感ディスプレイ ARView の外観、図 2 にシステム構成を示す。

本システムでは広視野の仮想環境映像を提示するため、装置上方にステレオプロジェクタを 2 台設置し、プロジェクタの前に設置された鏡を通して床面スクリーンに

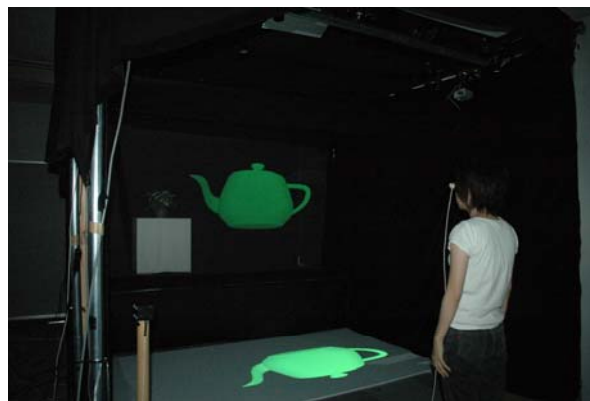


図1 システムの外観

Fig.1 Photograph of 'AR View' equipment.

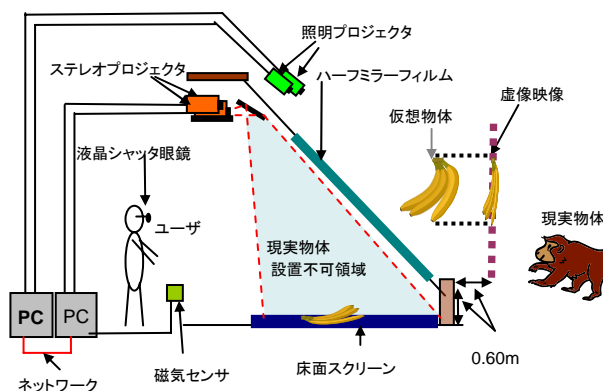


図2 システム構成

Fig.2 Structure of 'AR View' system.

仮想環境の映像を投影する。ユーザはこの床面スクリーン上の映像を床面に対して 45 度に設置されたフィルム型のハーフミラーを介して、正面に見ることができる。つまり、床面スクリーンの映像は虚像としてユーザの正面に表示される。このとき、使用したフィルム型ハーフミラーは透過性が高いため(可視光透過率 87.8%)、ユーザはハーフミラーの手前だけでなく後方の現実環境と融合した拡張現実世界を見ることができる。

ステレオプロジェクタには 1 チップの DLP プロジェクタ Infocus DepthQ を使用し、PC のリフレッシュレート (100Hz) と同期させて左右の視点画像を切り換えながら表示し、ユーザは液晶シャッター眼鏡 (StereoGraphics CrystalEYES3) を装着することで時分割立体視の映像を見ることができる。立体視映像には偏光方式と時分割方式があるが、本システムではユーザに提示する仮想環境の立体視映像はフィルム型ハーフミラーによって反射させた虚像であるため偏光を保つことができない。そのため、本システムでは時分割方式を採用した。

また、液晶シャッター眼鏡には視点位置を計測するための磁気センサ Polhemus FASTRAK を取り付けられており、

ユーザの視点に応じた立体視映像を提示することで仮想環境と現実環境を3次的に融合することができる。

本システムではPCを2台使用している。1台は視点位置の計測と仮想物体の映像生成に使用し、もう1台は3章で述べる照明プロジェクタを制御するために使用する。これらの2台のPCはGigabit Ethernetで接続し、磁気センサのデータや仮想物体のアニメーション映像のカウンタの値等を送受信することで、仮想環境の映像と照明プロジェクタによる映像の同期を取っている。

2.2 映像の投影位置とサイズ

フィルム型ハーフミラーは床面スクリーンに対して45度の傾きで設置されているため、図2に示されるように、床面スクリーンの映像はハーフミラーを対称面として床に垂直な位置に虚像として表示される。また、ハーフミラーの下辺は図3に示すように床面から0.60m上方に設置されているため、虚像平面は床から0.60m上方で、ハーフミラーの下辺から0.60m後方に配置される。ユーザはハーフミラー後方の虚像平面に焦点をあわせるが、両眼視差情報により任意の奥行き位置に仮想映像を見ることができる。

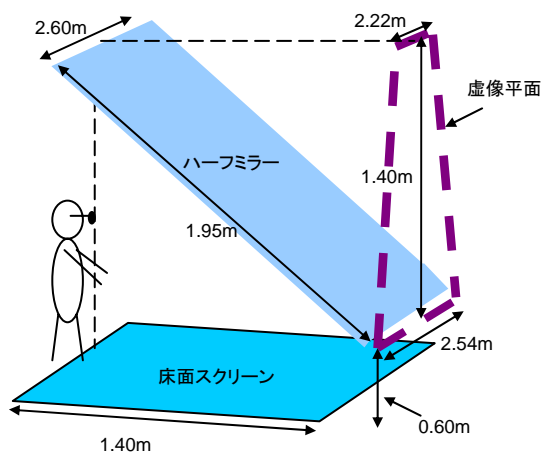


図3 映像の大きさ

Fig.3 Overall image size.

プロジェクタによって投影される映像は、プロジェクタの前に設置された鏡によって反転して、床面スクリーンに投影され、さらにハーフミラーによって反転した虚像として提示されるため、最終的にユーザが見る映像はユーザに対して正位置で投影された映像と同じになる。そのため、映像のレンダリング方法は、ハーフミラーの0.60m後方に垂直に置かれたスクリーン面があると想定し、通常のスクリンの場合と同様に、これに平行な投影面に対する透視投影変換を行う。

ただし、プロジェクタは床面に対して斜めに投射しているため、この際に生じる台形歪みをソフトウェア上で補

正している。

ハーフミラーフィルムの大きさは横2.60m、縦1.95mである。投影された映像はソフトウェア上で台形歪みの補正を行っているため、ユーザに対して表示される映像の形状は等脚台形のままである。そのため、1台のステレオプロジェクタによって投影される映像は高さが1.40m、上底が1.52m、下底が1.87mの等脚台形となる。本システムでは広視野の映像を提示するためにステレオプロジェクタを横に2台並べて使用しており、2つの投影映像が重なっている部分に対してエッジブレンディングを行うことで一枚の映像としてユーザに提示される。その結果、2台のステレオプロジェクタによってユーザに提示される映像の大きさは高さ1.40m、上底2.22m、下底2.54mとなる。

ユーザの視野角度は視点位置に依存するが、図4のようにユーザの視点位置が虚像平面の中央で、奥行き位置が床面スクリーンの上底の辺上にあるとき、ユーザに対する映像の水平方向の視野角度 θ (度)は

$$\theta = \frac{180}{\pi} \cdot 2 \arctan \frac{1.19}{1.40 + 0.60}$$

また、垂直方向の視野角度 θ (度)は

$$\theta = \frac{180}{\pi} \cdot 2 \arctan \frac{0.70}{1.40 + 0.60}$$

となり、水平方向に約62度、垂直方向に約39度の視野角度を得ることができる。

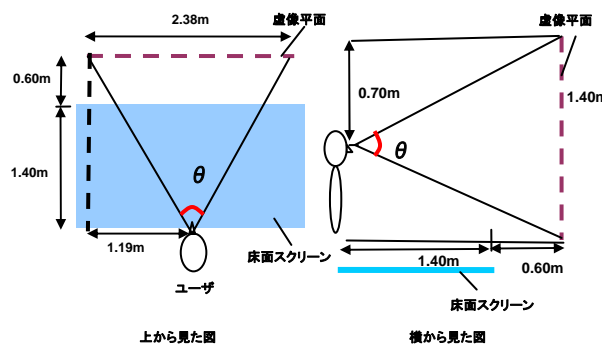


図4 視野角度

Fig.4 User's field of view in the image plane.

2.3 座標系

仮想環境と現実環境を立体視映像によって3次的に融合するために、仮想環境と現実環境に共通のワールド座標系を設定する必要がある。

本研究では、仮想物体の映像生成プログラムはOpenGLをベースに構築された汎用のIPT用のライブラリであるglCCを用いて開発している。glCCではxy平面

を床面として z 軸を上向きに取る右手座標系を使用しているため、この座標系に基づいて現実環境に対しても座標系を設定した。

図5はこの座標系を示しており、 x 軸は虚像平面と床に対して平行、 y 軸は虚像平面に対して垂直、 z 軸は床に対して垂直にとった。

また、原点は x 座標が虚像平面の横幅の中心、 y 座標が虚像面から-1.00m、 z 座標が床面上の位置とした。

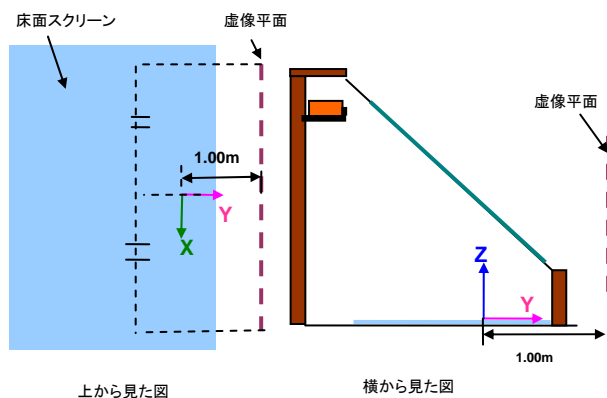


図5 ARView 内での座標系

Fig.5 Co-ordinate system used.

3 照明プロジェクト

3.1 照明プロジェクトの目的と概要

本システムではユーザが見る映像はハーフミラーで反射された虚像であるため、虚像平面上に表示された映像がハーフミラー後方の現実物体と重なるように表示されると、図6のように仮想物体と現実物体が両方見えてしまい、オクルージョンが正しく表現できないという問題点がある。これは、虚像によって現実物体からの反射光を遮ることができない、あるいは現実物体が虚像を遮ることができないため、仮想物体の輝度が現実物体からの反射光に対して十分に高い、あるいは十分に低くないと両者を知覚してしまうためである。そこで、本研究では ARView の補助機能として照明プロジェクトという機能を導入した[13][14]。

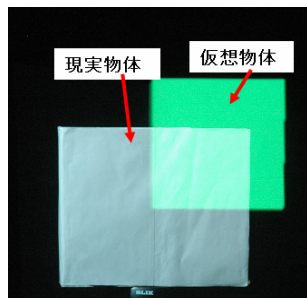


図6 現実物体と仮想物体のオクルージョン関係

Fig.6 The example of occlusion between virtual objects and real objects.

照明プロジェクトは、あらかじめ物体の位置、形状が測定されたハーフミラー後方の現実環境に、通常照明の代わりにプロジェクトの光を投影するもので、局所的に光の当たる場所を制御することのできる照明光として利用することができる。現実環境に対して、全体には白色光を投影し、ユーザから見て仮想物体と重なり、仮想物体よりも後方になる部分には光を投影しないことで現実物体に影を作る。これにより、二つが重なって見える部分に関して仮想物体の輝度が現実物体の輝度に対して十分に高くなるため、図7左のように正しいオクルージョンを表現できるようになる。

また、仮想物体が現実物体の後方にある場合は、図7の右のように二つが重なって見える部分の仮想物体を黒くすることで正しいオクルージョンを表現することができる。

本研究では、舞台環境への応用等でハーフミラー後方の現実環境に人間が入ることも想定し、プロジェクトの光を直接人間に照射してもまぶしくないように照明プロジェクトに最大輝度が 15 ANSI ルーメンの低輝度 LED プロジェクト(東芝製 TDP-FF1A)を使用し、装置上部に設置した。

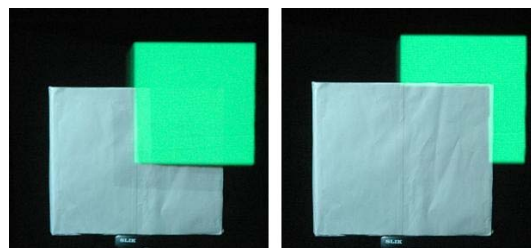


図7 照明プロジェクト使用例

Fig.7 Use of the light projector.

3.2 照明プロジェクトの制御手法

照明プロジェクトによって現実環境に影を作り出すための映像は OpenGL をベースとしたプログラムにより、シャドウマッピングのアルゴリズム[15]を応用して生成している。

照明プロジェクトで投影する映像の生成手法は以下の通りである。

- (1)ユーザの視点位置(ここでは左目の位置)を計測し、その位置をカメラ視点とした透視投影により、仮想物体の画像をレンダリングし、その結果をデプステクスチャとして保存する。
- (2)あらかじめ位置と形状を計測してある現実物体の3Dモデルを作成し、白色でレンダリングし、これにユーザの視点(左目)位置からデプステクスチャを投影マッピングする。この時、ピクセルのデプス値がマッピングされるデプステクスチャの値よりも大きければ黒色がマッピング

される。

(3)デプステクスチャがマッピングされた現実物体の3Dモデルを、照明プロジェクタのレンズ位置をカメラ視点とした透視投影によりレンダリングし直し、これを照明プロジェクタから投影する。

上記の方法により、仮想物体の影になっていない部分だけ現実世界に白色の照明が当たるため、仮想物体が現実物体よりも手前にある場合には現実物体に影を作ることができ、図7左に示す正しいオクルージョン表現を行うことが可能になる。

また、ステレオプロジェクタで投影する映像に関しても現実物体の3Dモデルを黒色で表現し、仮想物体と一緒に表示する。この方法により現実物体が仮想物体より手前にある場合にも図7右のように正しいオクルージョン表現を行うことができる。

以上の方法では、現実物体を白色のモデルとして作成することで現実物体に白色光を照射しているが、この際、現実物体に特定の色を設定することで照明として利用するだけでなく、同時に図8に示すように現実物体に色や模様をつけるという使用方法も可能である。この方法では、現実物体をスクリーンとして用いながら、同時に仮想物体のオクルージョンを表現することが可能になり、ステレオプロジェクタの立体視映像による仮想環境の提示だけでなく、現実物体の形状をベースにした複合現実感物体の提示を行うことも出来る。

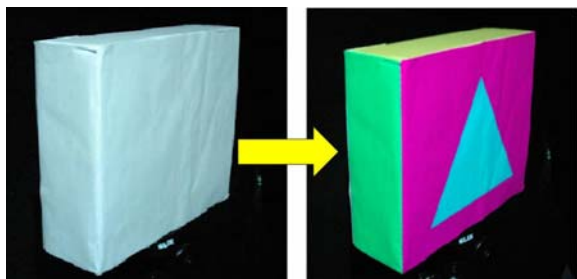


図8 照明プロジェクタによる色の投影

Fig.8 The example of projecting color image with the light projector.

4 仮想環境と現実環境の融合精度の評価実験

本研究では、立体視映像を用いることで広視野の仮想環境と現実環境を3次元的に融合することを目的の一つとしている。しかし本システムでは、視点位置計測や台形歪み補正、虚像による映像提示、ユーザがフィルム型ハーフミラーを通して仮想環境と現実環境を見るときといった特徴が、仮想環境と現実環境の融合精度に影響することが考えられる。そこで、どの程度の精度で両者が融合できているかを検証するために、仮想物体と現実物体の位置あわせに関する評価実験を行った。

4.1 実験手法

実験手順は以下の通りである。

まず、被験者は磁気センサのついた液晶シャッター眼鏡を装着する。

次に、被験者は立体視映像として提示された仮想物体(5cm四方の緑色の立方体)を、キーボード操作によって現実環境内に配置された目標位置(5cmの正方形のタグ)に移動させ、図9に示すように2つの位置を合わせる。

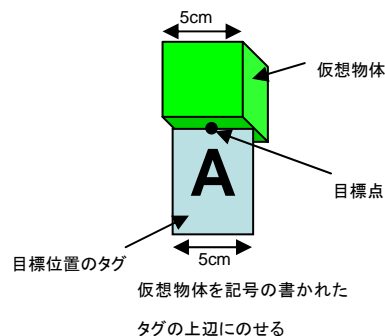


図9 目標位置と仮想物体

Fig.9 The position of the target and the virtual object.

仮想物体の初期位置はワールド座標系の $-0.50 \leq x \leq 0.50, -0.60 \leq y \leq 0.60, 1.00 \leq z \leq 1.50$ (単位:m)内にランダムに表示される。また、仮想物体はx、y、zの各方向に±1cm単位で操作することができる。

現実環境に提示された目標位置は図10に示すハーフミラー前後の21箇所とした。

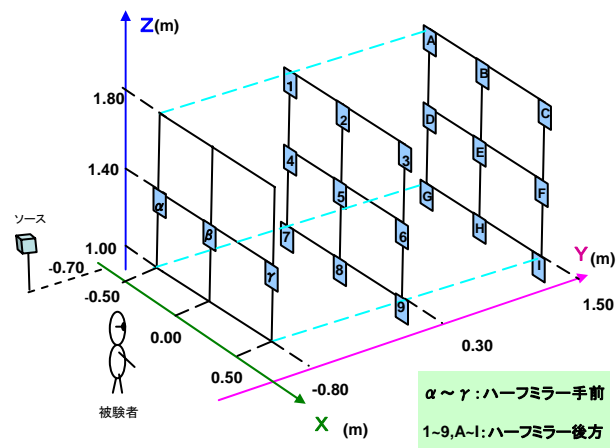


図10 目標位置

Fig.10 The positions of the targets.

被験者が移動させた仮想物体の位置と目標位置の座標の差を計測し、仮想環境と現実環境の位置認識のずれとした。

この操作を21箇所の目標位置について7名の被験

者に対して、各被験者 3 回ずつ行った。また、磁気センサのソースは(-0.70,-2.10,0.96)の位置とし、視点位置が十分に測定できるように被験者の可動範囲がソースから半径 1.10mの半円内となるように制限した。

4.2 実験結果と考察

7 名の被験者に対し、被験者が移動させた立方体と目標位置の x、y、z 座標それぞれの差をとり、その平均値と標準偏差を求めた。結果が表1である。

また、目標位置と被験者が移動させた立方体の位置のずれの平均値を各目標位置について比較したものが図 11 である。

表1 目標位置と移動させた仮想物体の位置とのずれ
Table 1 The difference between the cube moved by the subjects and the targets

座標	x	y	z
平均値(cm)	1.91	6.68	1.65
標準偏差	1.50	4.66	1.31

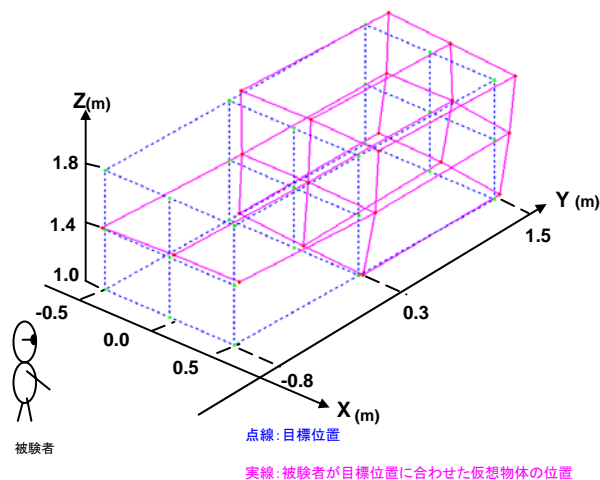


図11 各目標位置と被験者が移動させた立方体の位置のずれ

Fig.11 The difference between the position of cube (virtual object) and each target.

この結果からx座標(左右方向)とz座標(上下方向)においては現実物体と仮想物体の位置の差が平均で2 cm以下であり標準偏差が小さいことから、融合精度は高いといえる。y座標(前後方向)は x、z 座標に比べて誤差の平均値、標準偏差ともに大きかった。この原因としては人間の目の奥行きに対する精度が低いことが挙げられる[16]が、これに関しては生体上の理由であるため、実際に本システムを使用する際にユーザに違和感を与える要因にはならないと判断できる。さらに、奥行き位置を合わせるときに、通常は物体を正面から見るだけでなく別の角度から見るという動作を行うが、今回の実

験では被験者の可動範囲を制限したため見る角度が制限されたことも原因の一つと考えられる。これに関しては、センサの計測範囲と精度を向上させることで解決することができる。以上から、平均値 6.68cm という y 座標のずれは、医療応用やロボット制御など精密な作業が要求される用途でなければ、本システムの精度は十分許容範囲であると考えられる。

5 照明プロジェクトの評価実験

次に、3 章で述べた照明プロジェクトによってオクルージョン表現が向上しているかどうかを検証するため、照明プロジェクトを使用した場合としない場合の現実物体と仮想物体の奥行き関係の知覚を調べる評価実験を行った。

5.1 実験手法

被験者はワールド座標系でx座標 0.00、y 座標-2.10 (ハーフミラー手前)に固定された椅子に座り、磁気センサのついた液晶シャッタ眼鏡を装着する。現実物体の大きさ 0.31m×0.09m×0.26m の白い箱をハーフミラー後方の(0.00,1.15,1.25)に配置し、仮想物体として立体視映像の立方体を虚像として表示する。

仮想物体は y 座標(奥行き位置)が -0.80,-0.60,-0.20,0.20,0.60,1.00,1.40,1.80 のいずれかとなる 8 箇所に表示し、被験者の左目から見て図 12 のように仮想物体と現実物体の一部が重なるように表示した。

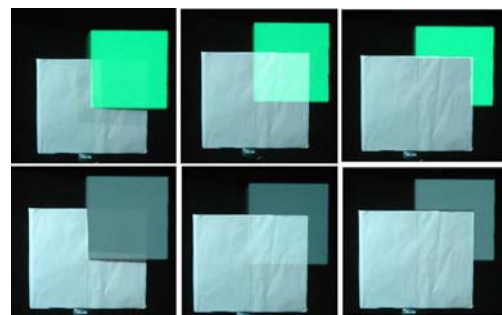


図12 表示例

Fig.12 The examples of the displayed images.

また、本システムでは仮想環境の映像を透視投影で表示しているため、手前にある物体ほど大きく描画される。このため、本実験では仮想物体の y 座標が 1.00 のときに仮想物体の大きさが 0.20m 四方となることを基準として、仮想物体の映像の大きさを被験者からの奥行き距離に反比例させることで、虚像平面に表示される仮想物体の大きさを一定にし、被験者が仮想物体の見かけの大きさで奥行きを判断できないようにした。

上記の 8 箇所の仮想物体に対して、照明プロジェクト機能を用いて仮想物体または現実物体に影を投影する場合と、照明プロジェクト機能を用いずに影を投影しな

い場合の2通り、合計16パターン of 映像をランダムに提示した。

被験者にはランダムに提示された上記の16パターンを見てもらい、以下の質問に答えてもらった。

質問: 現実物体(白い箱)に対して仮想物体(立方体)は手前に見えるか奥に見えるかを次の3つの選択肢から答えよ。

- (a) 白い箱が手前 (b) 白い箱が奥 (c) わからない

この実験を5名の被験者に対して、仮想物体の色を白と緑、さらにそれぞれについて輝度の高いものと低いものの合計4通りで3回ずつ行い、データを取った。

5.2 実験結果と考察

実験結果に対し、照明プロジェクタを使用した場合／使用しなかった場合、仮想物体の色が白／緑、仮想物体の輝度が高い／低い、の3要因の分散分析を行ったところ、照明プロジェクタの使用に関しては1%水準で有意性があつたが、交互作用を含めその他の因子については有意性は認められなかった。質問に対して照明プロジェクタ機能を使用した場合と使用しない場合の奥行き判定の正答率を比較したものが図13のグラフである。被験者の答えが正解でなかった場合と、”(c)わからない”を選択した場合は不正解として正答率を計算した。

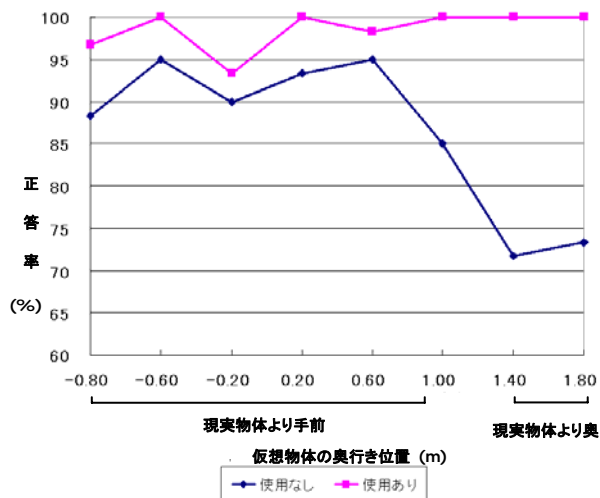


図13 奥行き判定の正答率の比較

Fig.13 Comparison of results, with and without occlusion correction of images.

グラフより照明プロジェクタを使用することで全体的に正答率が上がっている。

以上の実験結果から、照明プロジェクタ機能を使用することで、全体としてユーザの現実物体と仮想物体の奥行きに関する知覚精度を向上させることができたといえる。ただし、図13の照明プロジェクタ機能を使用した場合の結果だけを見ると仮想物体が被験者に近い位置にある場合(-0.80m~-0.20m)、多少評価が下がっている。

る。

照明プロジェクタに使用したLEDプロジェクタではリフレッシュレートが75Hzまでしか出せず、仮想物体の映像に対応した時分割方式の照明を投影できないため、本システムでは照明プロジェクタから現実物体に投影される影は、被験者の左目から見たときの影を投影している。そのため、仮想物体が被験者に近づくほど提示される映像の視差が大きくなり、図14のように右目から見たときの仮想物体の映像と現実物体に投影された影がずれてしまっていることが、奥行き判定の正答率を下げる原因になっていると考えられる。

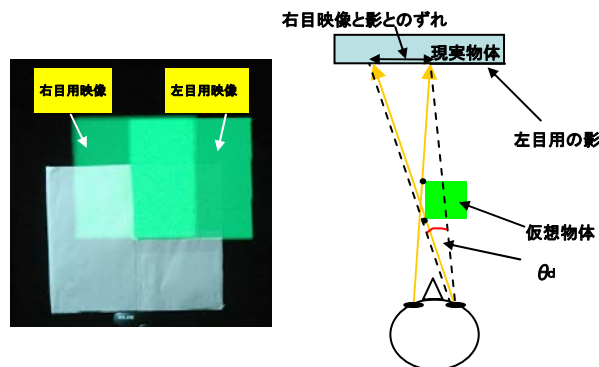


図14 視差の大きい映像と影の位置

Fig.14 Stereo parallax image and shadow projected onto the surface of real object.

この点に関しては、照明プロジェクタに映像用のプロジェクタと同じリフレッシュレートのものを使用し、映像と照明の同期を取ることで解決できる。ただし、今回は人間がハーフミラー後方の現実環境に入ることを想定し、輝度の低いLEDプロジェクタを使用している。

6 没入型拡張現実環境の応用例

6.1 広範囲の拡張現実展示環境

ARViewはさまざまなアプリケーションに適用できる。その一つとして、拡張現実感型展示環境の構築が挙げられる。図15はノートPCの展示をARViewで行っている例を示したものである。この例では、ノートPCと白い台はハーフミラー後方に置かれた現実物体であり、CGキャラクタはノートPCを説明する仮想映像である。

本システムではハーフミラーの透過性が高いため、ハーフミラー自体の存在をユーザに認知させにくくすることができた。また、時分割立体視映像を投影し、照明プロジェクタを使用することで、仮想物体と現実環境の間の正しいオクルージョンを表現し、3次元的に融合することができている。また、大画面ハーフミラーを使用することで、没入感の高い広範囲の拡張現実環境を生成することができた。図15上はCGキャラクタがノートPCよりも手前、図15下はCGキャラクタがノートPCよりも後ろにいる状態を示している。

また、同様の方法を用いて舞台効果としても使用できると考えられる。

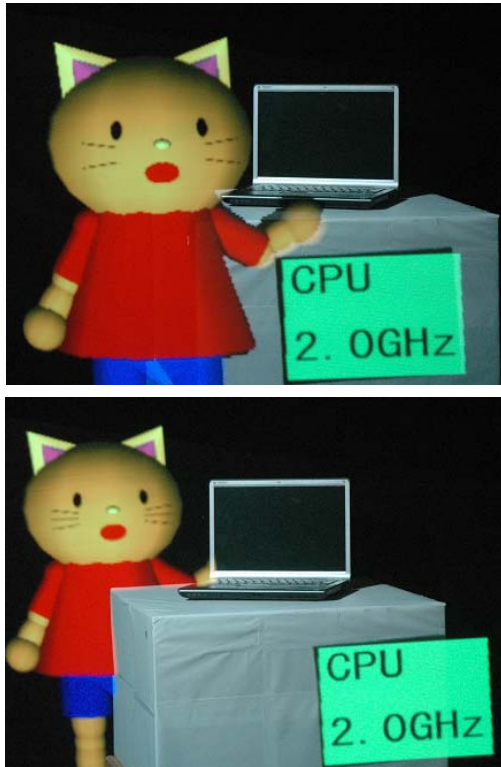


図15 展示環境構築例

Fig.15 An example of the exhibition environment.

6.2 ビデオアバタを使用した遠隔地とのコミュニケーション

ARView は、単独で CG 映像を投影した拡張現実環境として利用するだけでなく、図 16 のようなビデオアバタ[17]を投影することで遠隔地との双方向コミュニケーションのためのテレマージョン環境にも使用することができる。



図16 ビデオアバタの投影

Fig.16 The example of how video avatar is used by ARView.

本研究では ARView を総務省研究用広帯域のネットワーク JGN2(バックボーン:10Gbps×2)に接続し、遠隔

地で撮影されたビデオアバタ映像をリアルタイムで受信し、ARView のユーザがいる現実環境に融合して提示した。今回の実験では、遠隔地側では通常のスクリーンを用いた仮想環境を使用した。ビデオアバタの撮影では、通常のスクリーンを用いる場合はユーザの目の前のスクリーンを避けてカメラを設置する必要があるため利用者が相互に視点をあわせることが難しいが、ARView ではハーフミラーの透過性が高いため、ハーフミラーの背面にカメラを設置し、ハーフミラー越しにユーザの姿を真正面から撮影して送信することができる(図 17)。このため、遠隔地の利用者が双方向で違和感のないコミュニケーションをとることが可能であることが確認できた。



図17 ハーフミラー後方からのユーザの撮影

Fig.17 How to shoot the user's image.

また、ビデオアバタを用いたコミュニケーション時にも照明プロジェクタの機能は使用することができる。ビデオアバタはあらかじめ人物がいない背景を撮影しておき、背景差分法を用いて人物像だけを切り出し、その映像をテクスチャとして矩形の板にマッピングすることで生成している。このとき、人物像以外の背景部分はアルファ値を 0 とし、アルファブレンディングを行うことでアルファ値が 0 の部分は非表示、アルファ値が 0 より大きい部分は表示することで人物像だけを合成している。このため、ビデオアバタが現実物体よりも後ろにある場合には、黒い現実物体の 3D モデルをビデオアバタと一緒にレンダリングし、ステレオ映像として投影する。また、ビデオアバタが現実物体よりも手前にある場合には、ビデオアバタ映像をレンダリングし、デプステクスチャとして保存する際、アルファ値が 0 の非表示部分のデプス値は初期値のままになっているため、デプステクスチャをビデオアバタよりも後ろにある現実物体の 3D モデルにマッピングすると、人物像の部分のみが黒くマッピングされ、現実物体に影を投影することが可能になる。

この方法により、ビデオアバタを使用した遠隔地とのコミュニケーションにおいても遠隔地の人物像と現実物体の間で正しいオクルージョンを表現することができる。

以上の方法により、本システムを用いることで遠隔地間での臨場感の高い会議や協調作業を実現することが

期待される。

7 まとめ

本研究では、透過性の高い大画面ハーフミラーフィルムを用い、時分割方式の立体視映像を投影することでハーフミラー前後の現実環境と仮想環境を光学的、3次元的に融合する没入型拡張現実ディスプレイシステム ARView を構築した。また、ハーフミラーによる虚像の提示で生じる仮想物体と現実物体間のオクルージョンの問題を照明プロジェクタ機能によって解決した。

本システムの応用分野としては、単独の拡張現実環境を用いた展示等の他に、広帯域ネットワークに接続することで遠隔地との高臨場感のコミュニケーション等が考えられ、プロトタイプを提案した。

今後の課題としては、現在の照明プロジェクタはあらかじめ形状と位置が計測された現実環境に対してのみ利用することが可能であるが、これを拡張し動的な現実物体の動きに対しても利用可能にすることが挙げられる。また、広視野の拡張現実空間の特徴を利用したより実用的な ARView のアプリケーションの開発が挙げられる。

謝辞

本研究は、総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度「実空間における人物像の記録・伝送・再生に関する研究開発」、および報通信研究機構の民間基盤技術研究促進制度に係る研究開発「テレ・イマーシブ・カンファレンス・システムに関する研究開発」の一部として行われた。また情報通信研究機構の JGN2 ネットワークおよびつくば JGNII リサーチセンターの研究施設を利用させていただいたことに感謝する。

参考文献

- [1] 一刈良介, 川野圭祐, 天目隆平, 大島登志一, 柴田史久, 田村秀行: 映画制作を支援する複合現実型プレビジュアライゼーションとカメラワーク・オーサリング; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.3, (2007), pp.343-354.
- [2] J. Fischer, M. Neff, D. Freudenstein, D. Bartz: Medical Augmented Reality based on Commercial Image Guided Surgery; Eurographics Symposium on Virtual Environments, (2004), pp. 83-86.
- [3] Ronald T. Azuma: A Survey of Augmented Reality.; PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments, vol.6, No.4 (1997), pp.355-385.
- [4] Oliver Bimber, Ramesh Raskar: Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds.; A K Peters Ltd, (2005), pp.74-76.
- [5] Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, Thomas A. DeFanti: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE.;

- ACM SIGGRAPH'93, (1993), pp.135-142.
- [6] 小木哲朗:PC-CABIN による共有型没入仮想環境の構築; 第 32 回可視化情報シンポジウム講演論文集, 可視化情報, Vol.24, Suppl. No.1, (2004.7), pp.305-308.
- [7] Tetsuro Ogi, Toshio Yamada, Koji Yamamoto, Michitaka Hirose: Invisible Interface for the Immersive Virtual World.; IPT/EGVE2001, (2001), pp.237-246.
- [8] Ramesh Raskar, Greg Welch, Kok-lim Low, Deepak Bandyopadhyay: Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-Based Illumination.; Proc. the 12th Eurographics Workshop on Rendering Techniques, (2001), pp.89-102.
- [9] Oliver Bimber, Bernd Fröhlich, Dieter Schmalstieg, L. Miguel Encarnação: The Virtual Showcase.; IEEE Computer Graphics and Applications, vol.21, No.6, (2001), pp.48-55.
- [10] Oliver Bimber, L. Miguel Encarnação, Pedro Branco: The Extended Virtual Table: An Optical Extension for Table-Like Projection Systems.; Presence, vol.10, No.6, (2001), pp.613-631.
- [11] EON .Inc : <http://www.eonreality.com/>
- [12] 牛田 啓太, 田中 悠, 苗村 健, 原島 博: 視線一致光学系を用いたディスプレイシステム i-mirror における鏡メタファインタラクション; インタラクション 2002, IA-33, (2002), pp.85-86.
- [13] 野田真一, 伴好弘, 佐藤宏介, 千原國宏: 実時間計測と動的パターン照明による光学シースルー型複合現実感ディスプレイ; TVRSJ, Vol.4, No.4, (1999), pp.665-670.
- [14] Oliver Bimber, Bernd Fröhlich: Occlusion Shadows: Using Projected Light to Generate Realistic Occlusion Effects for View-Dependent Optical See-Through Displays.; Proc. International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '02), (2002), pp.186-195.
- [15] Mark Segal, Carl Korobkin, Rolf van Widenfelt, Jim Foran, Paul Haerberli: Fast Shadows and Lighting Effects Using Texture Mapping; ACM SIGGRAPH Computer Graphics, vol.26, Issue 2, (1992), pp.249-252.
- [16] 松田隆夫: 知覚心理学の基礎; 培風館, (2000), pp.66-70.
- [17] 酒井 満隆, 小木 哲朗, 鈴木 康広, 広田 光一: JGN2 ネットワークを用いたマルチカメラによるビデオアバタ送信; 日本バーチャルリアリティ学会 第 11 会大会, (2006),pp404-407.

(2007年12月10日)

[著者紹介]

村瀬 香緒里 (学生会員)



2007年筑波大学第三学群情報学類卒業。
同年筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻博士課程前期入学、現在に至る。光学式の拡張現実感ディスプレイの研究に従事。

小木 哲朗 (正会員)



1986年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、同年(株)三菱総合研究所入社、1994年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、1996年東京大学IML助教授、1999年通信放送機構研究員、2004年筑波大学大学院システム情報工学研究科助教授、2008年慶應義塾大学システムデザイン・マネジメント研究科教授、現在に至る。没入型ディスプレイ、臨場感通信に関する研究に従事。博士(工学)。

齋藤 康太 (非会員)



2000年成蹊大学法律学部法律学科卒業。
同年ホログラム会社訓練生として独MUSION社に入社。2002年株式会社スピ
ン入社、現在に至る。

小山 尚英 (非会員)



2004年法政大学経済学部経済学科卒業。
同年株式会社スピ
ン入社、現在に至る。