

MRシステムにおける投影マーカとジェスチャを用いた 仮想オブジェクト操作方法の提案

赤星 俊平¹ 阪口 紗季² 松下 光範^{1,a)}

概要: 本研究では複合現実感を用いたシステムにおいて、現実世界のユーザが仮想世界のオブジェクトを円滑に操作する方法の実現を目指す。仮想オブジェクトの操作には、仮想のカーソルを用いることがある。しかし、それらは現実世界と仮想世界の正確な位置関係や、実物体の形状を反映せずに配置されるため、ユーザが仮想オブジェクトとの距離を掴みにくいという問題がある。本稿ではこの問題を解決するために、プロジェクタを用いてポインタとマーカの役割を兼ねた画像を現実世界に直接投影することで仮想オブジェクトを重畳し、ジェスチャによって操作する方法を組み合わせたプロトタイプシステムを実装した。

Manipulation Method of Virtual Object Using Projected Markers and Gestures in MR System

SHUMPEI AKAHOSHI¹ SAKI SAKAGUCHI² MITSUNORI MATSUSHITA^{1,a)}

Abstract: The purpose of this research is to develop a method that allows a user who uses a mixed reality (MR) system to operate virtual objects smoothly. In current MR systems, the user often uses a virtual cursor to manipulate virtual objects. However, it is difficult for the system to match the coordinates of the real world with that of the virtual world. This problem causes difficulty for the user to grasp the distance from the virtual object. When the shape of the object to be projected is complicated, this problem becomes more serious. To solve this problem, this paper proposes a new method of manipulating virtual objects. This method projects an image that has two roles, i.e., pointer and maker, directly to the real world with a projector attached to the user's arm. It also adopts a method of manipulating virtual objects using gestures. This paper introduces a prototype system using this method, and shows experimental results on marker recognition accuracy and the system's usability.

1. はじめに

現実世界と仮想世界を重ね合わせることで、一方の世界のみでは実現不可能な体験を生み出す複合現実感 (Mixed Reality; MR) と呼ばれる技術が広まりつつある¹⁾。MRを用いたシステムの円滑な体験のためには、現実世界と仮想世界が違和感なく重なり合い、ユーザが仮想世界に存在するオブジェクトを現実世界の実物体と同じように感じられることが重要である。そのため、ヘッドマウントディス

プレイ (Head Mounted Display; HMD) を用いて現実世界に仮想世界を重ね合わせる手法や、重畳した仮想オブジェクトを円滑に操作することが試みられている。

仮想オブジェクトの操作方法として、これまでにカーソルやジェスチャを用いた手法が提案されている²⁾。しかし、カーソル操作はディスプレイ上に表示されたカーソルを別途に用意したコントローラを用いて操作するため、ユーザの動作との身体的な関連が薄いほか、現実世界の奥行きや実物体の形状を反映せずにカーソルが配置されることが多いため、仮想オブジェクトとの距離をユーザが掴みにくいという問題がある。また、複数人で体験するシステムにおいては、ユーザは他のユーザのカーソルを視認することができないという問題がある。これらを解決するためには特

¹⁾ 関西大学総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

²⁾ 関西大学大学院総合情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kansai University

a) mat@res.kutc.kansai-u.ac.jp

殊なセンサや高い性能を持ったコンピュータを用いて現実世界を計測し、カーソルに反映する必要がある?。また、ジェスチャを用いる操作はユーザの身体的な動作を仮想世界に反映しやすい反面、ユーザは自身の指している仮想オブジェクトや仮想空間上の座標を判断する手がかりがないため、ユーザから離れた位置にある仮想オブジェクトを操作しづらいことが問題として挙げられる。

そこで本研究では、把持したプロジェクタから現実世界に対してポインタとマーカを兼ねた画像を投影することで仮想オブジェクトの重畳を行う操作と、ジェスチャによって仮想オブジェクトの移動を行う操作とを組み合わせる方法を提案する。ユーザは把持したプロジェクタの向きによってポインタを操作することができるため、従来のカーソルよりもユーザの動作に沿った操作が可能になる。また、ポインタが現実世界の実物体の表面に直接投影されるため、ユーザが自身や他のユーザの選択しているものやその位置を直感的に把握できるようになることが期待される。これにより、現実世界のユーザが仮想オブジェクトをより円滑に操作し、実物体のように感じられることが実現できると考えられる。

2. 関連研究

永嶋らの研究では、HMDと手に把持したタッチパッドを併用することで仮想オブジェクトを操作する手法を提案している?。HMDを通して視認した現実世界に対してスコープと呼ばれるポインタを重畳し、手に把持したタッチパッドへの入力によってスコープを操作し、仮想オブジェクトを操作している。この研究では、タッチパネルの指を置いた位置にスコープを置く操作を絶対値による操作とし、それに対して相対値による操作によってユーザから離れた位置に存在する仮想オブジェクトを操作可能にしている。

堀田らは、HMDを装着したユーザとHMDを装着しない周囲のユーザが一つのコンテンツを体験出来るMRゲームを開発している。HMDを装着するユーザはHMDに映し出された主観視点、HMDを装着しない周囲のユーザはモニタに映し出された俯瞰視点によって、仮想オブジェクトが重畳された複合現実世界を視認している。それぞれのユーザは、ジェスチャによって仮想世界上に存在する仮想キャラクタとのインタラクションを行っている?。

暦本のTRANSVISIONでは、二人のユーザがそれぞれカメラとセンサを取り付けた専用のディスプレイを用いることで一つの仮想世界を共有し、仮想オブジェクトを操作することが可能である?。TRANSVISIONでは、ディスプレイに表示された仮想オブジェクトに対して、仮想のレーザーポインタを当てることで選択を行い、ディスプレイをコントローラとして動かすことで操作している。

明神らは、カップを模した物理的なコントローラ(MagicCup)を用いて仮想オブジェクトを操作する手法を提案

している?で、MagicCupを置いたり、回したり、傾けたりすることで仮想オブジェクトが同様の動作を行い、ユーザは現実世界の実物体と同じような感覚で仮想オブジェクトを操作することができる。

本研究での提案手法では、現実世界に対してプロジェクタから実体としての光のポインタを直接投影することによって、仮想オブジェクトの操作を行う。これにより、ユーザから離れた位置にある仮想オブジェクトを操作することや、複数人でのコンテンツにおいてそれぞれのユーザが他のユーザのポインタを視認しながらコンテンツを体験することを可能にする。

3. デザイン指針

3.1 対象とするインタラクション

本研究で提案する操作方法は、ユーザがHMDを頭に装着して体験するMRシステムを対象にしている。これに対して、プロジェクタを用いた操作を取り入れることによって、ユーザが仮想オブジェクトを円滑に操作することを実現し、現実世界と仮想世界を違和感なく融合させることを目指す。本システムが、仮想オブジェクトを円滑に操作するために満たすべき要件を以下に示す。

- (1) 仮想オブジェクトを重畳する位置を自由に決定して重畳できること
- (2) 重畳する仮想オブジェクトの種類を変更できること
- (3) 重畳した仮想オブジェクトを適切に選択できること
- (4) 選択した仮想オブジェクトを適切に移動できること

これらの要件を満たす操作方法を設計するために、「仮想オブジェクトの重畳」と「仮想オブジェクトの操作」の2つの観点からデザイン指針を作成した。

3.2 仮想オブジェクトの重畳

4.1節で述べた(1)仮想オブジェクトを重畳する位置を自由に決定して重畳できること、(2)重畳する仮想オブジェクトを動的に変更できることを満たす操作方法を実現するため、本システムではハンディプロジェクタを用いる。ユーザは仮想オブジェクトの重畳の位置を決定するためのポインタを、腕に装着したハンディプロジェクタから投影することで、腕の向きに応じたポインタ操作が可能になる。また、手元の物理ボタンを操作することで、投影しているポインタをマーカに変化させることができ、それらをカメラで認識することでHMDを通して見た現実世界のポインタの位置に、仮想オブジェクトが重畳される。マーカの形状は操作するボタンに応じて変化するため、それらに応じて重畳する仮想オブジェクトの動的な切り替えを可能にする。

3.3 仮想オブジェクトの操作

4.1節で述べた(3)重畳した仮想オブジェクトが適切に

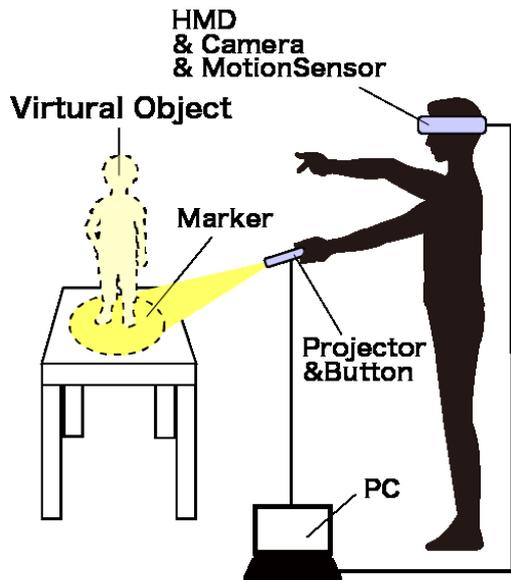


図 1 システム構成図

選択できること、(4) 選択した仮想オブジェクトを適切に移動できることを満たす操作方法を実現するため、本システムではモーションセンサを用いる。本システムでは仮想オブジェクトを重畳するためにハンディプロジェクタを片方の腕に装着するため、仮想オブジェクトの選択操作には両腕を使わず、もう片方の腕のみで行えることが望ましい。また、専用のコントローラや複雑な操作を要するコントローラなどを用いることは望ましくない。このような点を考慮し、仮想オブジェクトの選択にはジェスチャ操作を用いる。モーションセンサを用いてユーザの手を認識することで HMD 上に仮想の手を重畳し、それらの指から射出される仮想のレーザーポインタを用いて仮想オブジェクトの選択を行う。また、人差し指と親指のピンチ操作によって、選択したオブジェクトをユーザの手の周りに引き寄せたり、移動させたりする操作を可能にすることで、ユーザから離れた位置に存在する仮想オブジェクトの操作を可能にする。

4. 実装

4.1 提案システム

本システムではハンディプロジェクタを用いることで、仮想オブジェクトの重畳位置を選択するためのポインタや仮想オブジェクトを重畳するためのマークを、現実世界の環境や物体に対して直接的に投影する。仮想オブジェクトの操作にはモーションセンサを用いてユーザの手の形状と動きを認識し、重畳された仮想の手を用いて仮想オブジェクトに触れる方法をとる。

HMD とハンディプロジェクタを装着したユーザがハンディプロジェクタから任意のマーク画像を投影し、それを HMD を通して認識すると仮想オブジェクトが重畳される。

ユーザが重畳された仮想オブジェクトの方向に手を伸ばすとモーションセンサがユーザの手の位置と形状を認識し、仮想で構成された手（以下、Virtual Hand）を HMD 上に重畳する（図??の Virtual Hand 参照）。重畳されている仮想オブジェクトは、同様に仮想表示されている手によって選択及び操作が可能である。仮想オブジェクトの選択及び操作にはジェスチャ操作と、Virtual Hand で触れることによる操作を用いる。

4.2 システム構成

4.2.1 ハードウェア構成

本システムは、HMD の制御用システムとして PC にシースルー HMD、Web カメラ、LeapMotion センサを接続することで、HMD への映像出力と Web カメラによるマーク認識を行う。また、プロジェクタの制御用システムとして、PC にハンディプロジェクタと物理ボタンを接続し、ポインタとマークの投影や切替を行う。

シースルー HMD は非透過 HMD (SONY HMZ-T2) に Web カメラ (Buffolo BSW200MBK) を取り付けられたビデオシースルー HMD を用いることで代替している。カメラはユーザの負担にならないために HMD に取り付けても重量が可能な限り増えない小型のもの、HMD の視野をできるだけ広く確保することが可能な広視野角であるものを選定した。

モーションセンサには LeapMotion (LM-C01-JP) を使用している。本システムでは、ユーザが HMD を通して見える現実世界の全てを対象として仮想オブジェクトを重畳するため、ユーザの向きが限定されてしまう設置型センサは適さない。そのため小型の赤外線センサである LeapMotion をユーザが装着する HMD に取り付ける形で採用した。

ハンディプロジェクタには Canon の C-10W を使用している。ユーザが腕に装着できる小型のもので、ある程度離れた位置に対しても可能な限り鮮明に画像が投影できる輝度のものを採用した。ポインタをマークに切り替えるためのボタンとして、Arduino によって制御された物理ボタンを取り付けている。また、ハンディプロジェクタから投影するポインタとマークはプロトタイプシステムのアプリケーション用に作成したものを用いている。

4.2.2 アプリケーション構成

HMD 制御用システム、プロジェクタ制御用システムの実装にはゲームエンジンである Unity (ver5.4.0f3) を用いており、マーク認識のための AR SDK には PTC 社の Vuforia (Vuforia SDK ver6.0.114) を、ユーザのジェスチャ認識には LeapMotion の SDK である Orion Beta と Unity Core Asset を使用している。

Vuforia においてマーク認識を行うには、マークとして使用する画像から一定程度の特徴点を取得できる必要があ

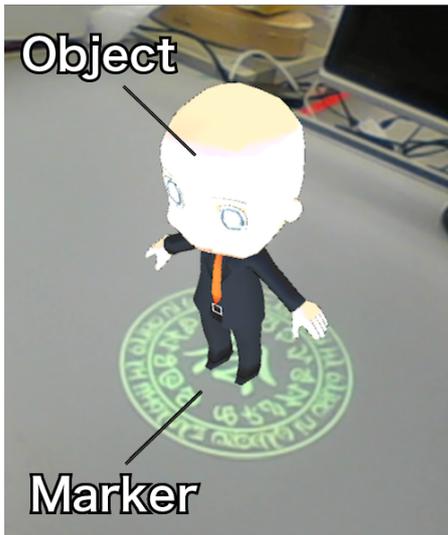


図 2 投影マーカ

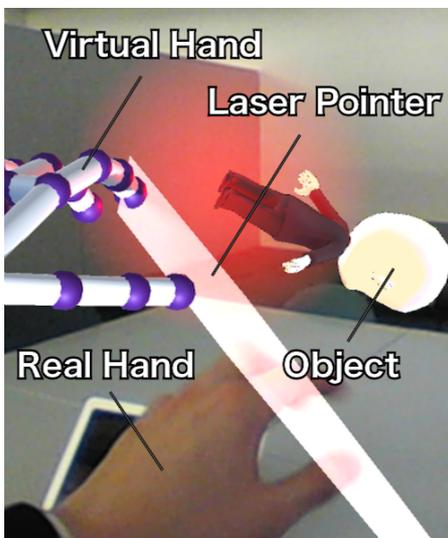


図 3 ジェスチャ操作

る。そのため、Vuforia が認識しやすい文字や模様を持ちつつ、アプリケーション内容との関連性を失わない絵柄の画像をマーカとして作成した。

4.3 アプリケーション内容

本システムは、ユーザが HMD とハンディプロジェクタを装着した状態で体験することを想定している。ハンディプロジェクタからは仮想オブジェクトを重畳する位置を決定するためのポインタとなる円状の画像 (図??の左参照) が投影されており、取り付けられた 3 つの物理ボタンの中から 1 つを選んで押すことで、ポインタが各ボタンに応じた画像に切り替わる (図??の右参照)。それらはマーカを役割を持っており、HMD を通して認識するとマーカに応じた仮想オブジェクトを重畳することができる (図??の Object 参照)。また、ユーザが手を前に出すと LeapMotion によって認識されたユーザの手の位置や大

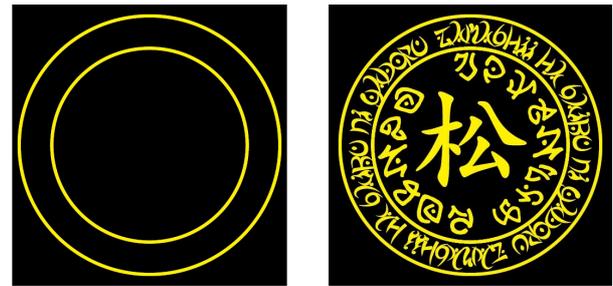


図 4 投影するポインタ画像 (左), 投影するマーカ画像 (右)

きさに応じた仮想の左手オブジェクトと右手オブジェクトが重畳される。左手オブジェクトの人差し指からは仮想の Laser Pointer が射出されており、そのレーザーポインタで仮想オブジェクトを指すことで、赤いエフェクトが付与され選択状態になる。左手オブジェクトの人差し指と親指を合わせるピンチ操作を行うことで、選択状態の仮想オブジェクトを左手オブジェクトの周辺へ移動させることができ、Virtual Hand を用いて触れることができる。

5. 実験

5.1 実験の目的

本研究では、仮想オブジェクトの操作方法に投影マーカを用いていることで、円滑な操作方法を実現することを目指している。しかし、本システムで用いる投影マーカはプロジェクタの特性上、輝度による画像の鮮明さや、距離によるマーカサイズの変化などによって認識精度が異なると考えられ、システムの安定性が懸念される。そのため、本実験ではプロジェクタから本システムまでの距離を変化させたときの、投影マーカの認識精度を調査した。

また、本研究で提案するシステムはエンタテインメントに応用することで、円滑な操作を実現することを想定している。そのため、ユーザに対してシステムの快適性やエンタテインメント性を調査するためのアンケートを行った。

5.2 実験の概要

実験参加者は、情報系学部 に在籍する大学生 11 名である。実験を行う前に、実験参加者に対して実験方法について説明し、実際にシステムを体験してもらうことで認識精度を計測した。また、体験終了後、システムについてのアンケートを行った。

計測は、マーカが歪みなく投影される位置を想定した床から 140 cm の 2 箇所 (図??の A, B 参照)、及びマーカが歪んだ状態で投影される位置を想定した床から 90 cm の 2 箇所 (図??の C, D 参照) の計 4 箇所を投影面として定めた。実験参加者には、投影面からの距離が 50 cm から 300 cm の範囲において、50 cm 間隔で距離を変えながらマーカを投影してもらい、各位置での認識の可否を計測した。

アンケートは、以下の 5 項目の質問により行った。1 から 5 の項目についてはそれぞれ 5 段階評価での回答を求

表 1 投射距離ごとのマーカ認識率 (%)

	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm	250 cm	300 cm
A	0.0	54.5	100.0	100.0	90.9	63.6
B	0.0	54.5	100.0	100.0	100.0	90.9
C	0.0	9.1	27.3	54.5	45.5	27.3
D	0.0	9.1	27.3	27.3	54.5	54.5

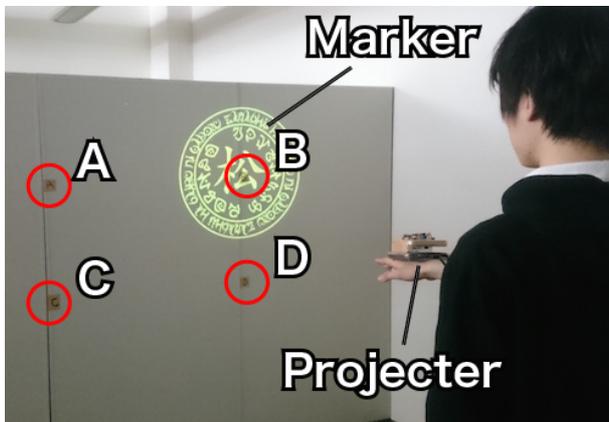


図 5 実験風景

め、6 の項目については自由記述での回答を求めた。

- (1) 仮想オブジェクトを自分が意図した場所に表示できた。
- (2) 3 つの仮想オブジェクトのうち、自分が意図した仮想オブジェクトを表示できた。
- (3) 表示した仮想オブジェクトの中から、自分が意図したものをジェスチャで選択できた。
- (4) 自分が意図した仮想オブジェクトを、ジェスチャで手に引き寄せることができた。
- (5) 仮想オブジェクトの操作が楽しいと思えた。
- (6) 本システムを体験した上で、気づいた点や、思ったことを自由にコメントして下さい。

5.3 実験の結果

実験で得られた投射距離ごとのマーカ認識率を表??に示す。行は距離を、列は投影面におけるマーカの投影位置を、表の中身は実験参加者 11 名が投影したマーカの認識率の平均を表している。正面に投影した A, B の場合は平均 77 % の認識率が得られた。斜め下に投影した C, D の場合はマーカに歪みが生じ、認識率は平均 41 % に留まった。ただし、最短距離である 50 cm の位置から投影した場合は投影面からの光の反射がカメラの認識を妨げ、認識率は 0 % であった。

アンケートの結果は、11 人の平均値で、項目 1 が 4.6、項目 2 が 4.4、項目 3 が 3.3、項目 4 が 4.1、項目 5 が 4.2 であった。項目 6 では、「目が疲れる」といった HMD を装着することによる負担や、「オブジェクトの位置がわかりづらかった」という位置関係の把握の難しさに対する回答が目立った。

5.4 考察

距離を離しても認識精度がある程度保たれたのは、プロジェクタの特性上、離れるほど投影映像が大きくなり、離れた分の認識しづらさを補ったからであると考えられる。最短距離で認識が失敗したのは、投影した映像の反射によるサチュレーションが強く、マーカの細部が認識できなかったためであると考えられる。

本システムではピント補正機能を持たないハンディプロジェクタを用いたが、距離に応じて自動でピントを補正するプロジェクタを用いることで、距離の変更を行ってもマーカ画像の細部が鮮明に映り、認識精度の向上が期待できる。また、Web カメラには HMD の視野をできる限り広く確保しつつ、HMD に装着しやすい映像素子が 200 万画素のものを用いたが、更に画素の高いものを用いることで遠距離の物体をより鮮明に映し出すことができ、マーカの認識精度の向上が期待できる。

本実験では、周りに余計なものを置かず、平らな壁面に対してのみ映像投影を行った。しかし、実際に使用する場面により近い環境を想定して、斜めからの投影、段差のある面に対しての検証が必要である。

6. 議論

6.1 提案システムの問題点と解決策

本システムの問題点として、ユーザがマーカを投影する距離や場所によって、仮想オブジェクトが安定して重畳できず、ユーザがシステムを体験できる範囲に制限が生じてしまうことが挙げられる。この問題の原因として、システムに用いているカメラの性能と、マーカを投影する投影面からの光の反射が考えられる。本システムでは、HMD に取り付けることやユーザが広い視界を確保する必要があることから、軽量で画角が広いカメラを選定しているため、カメラ画像の画素数が低く、離れた位置に投影されたマーカは細部を認識することが困難になってしまう。また、壁や床などの投影対象によっては強い反射が起きてしまい、カメラ画像の画質が著しく落ちてしまう。これら問題を解決するために、より画素数が高いカメラを用いることや、反射が起きにくい色味のマーカもしくは投影対象を使用することにより、仮想オブジェクトの重畳を安定させられると考えられる。

ユーザが選択する仮想オブジェクトが安定して重畳されないという問題に関連して、マーカ A からオブジェクト

A を重畳したい場面に、マーカ A からオブジェクト B が重畳されてしまうことも問題として挙げられる。これは、マーカの認識がシステム内で混同されてしまうことが原因である。その理由はプロジェクタから投影するマーカがポインタの役割を果たすためにある程度似通った縁を持っているからであると考えられる。この問題の解決策として、ポインタとしてのわかりやすさを保ったまま、個々の特徴点の違いが明確なマーカのデザインを検討する必要がある。あるいは、本システムでは物理ボタンに応じてマーカ投影を切り替え、それらの認識によって重畳する仮想オブジェクトを変更しているが、物理ボタンを押すタイミングでプログラムによって仮想オブジェクトを変更することが解決法として考えられる。

また、ユーザがシステムを体験する上で動きを制限することがないように、赤外線深度センサを用いるにおいて、HMD に取り付けられるサイズである LeapMotion を選定したが、LeapMotion 以外の機材である HMD や Web カメラ、Arduino、ハンディプロジェクタの配線がユーザの動きを制限しているという問題がある。この問題を解消するために、ワイヤレス機能の搭載されたハンディプロジェクタやカメラを用いたり、Arduino に無線モジュールを用いることでシステムの無線化を行うことが必要となる。

実験の結果から、本稿で実装したアプリケーションでは、仮想オブジェクトの選択が難しいという問題が挙げられる。原因としては、ユーザが HMD を通して視認している現実世界と、仮想のものとして重畳されたレーザーポインタの位置関係が不正確なものであることが考えられる。この問題を解消するためには、現実世界と仮想世界の座標をより正確なものに調整することが必要となる。また、仮想オブジェクトの選択に仮想のレーザーポインタを用いるのではなく、ハンディプロジェクタから投影される光や、プロジェクタの向きを用いて行えるように拡張することで、より円滑な操作を実現することが考えられる。

6.2 今後の展望

本稿で実装したアプリケーションでは、仮想オブジェクトに対するインタラクションは投影マーカによる重畳、ジェスチャ操作による選択・移動に限られたが、今後は多様な操作に対応したジェスチャ操作を増やすことでコンテンツを充実させることも検討する。また、本実装ではプロジェクタに搭載したボタンの数が 3 つであることから、仮想オブジェクトの種類を 3 種類としたが、今後はボタンの数の増加やコマンド入力を用いた方法などを検討し、より多くの種類の仮想オブジェクトを重畳できるように拡張する。その際は、7.1 節に述べたマーカの混同や、ユーザビリティについても考慮する。

マーカをプロジェクタから投影している特性上、ユーザとマーカの距離が離れるにつれてマーカが大きくなってい

くが、実際にシステムを体験する場合、段差のある環境や他のものが置いてある環境で使用することも考えられる。そのため、距離センサを用いてユーザとマーカの距離に応じてマーカのサイズを変更できるようにすることを認識精度を考慮しつつ検討する。

7. おわりに

本研究では、エンタテインメントとしての MR システムを対象に、投影マーカとジェスチャを組み合わせた仮想オブジェクトの操作方法を提案し、プロトタイプシステムを実装した。また、システムを実現するために必要な投影マーカの認識精度や、プロトタイプシステムのエンタテインメント性について調査した。今後の展開として、投影マーカの認識精度の向上や、ジェスチャ操作やボタン操作の種類を拡張を行うことで、より円滑で多様な操作を実現する。

参考文献

- [1] Jun, R.: Transvision: A hand-held augmented reality system for collaborative design, *Proceeding of Virtual Systems and Multimedia*, Vol. 96, pp. 18–20 (1996).
- [2] Milgram, P. and Kishino, F.: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays, *IEICE transactions on information and systems*, Vol. 77, No. 12, pp. 1321–1329 (1994).
- [3] Rod, F.: The future of augmented reality: Hololens-Microsoft’s AR headset shines despite rough edges, *IEEE Spectrum*, Vol. 53, p. 21 (2016).
- [4] 明神聖子, 加藤博一, 西田正吾: テーブルトップ型拡張現実感における MagicCup の提案と評価, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol. 108, No. 226, pp. 15–20 (2008).
- [5] 富谷拓, 酒田信親, 西田正吾: タッチパネルを用いた没入型 AR 空間内の仮想物体の遠距離操作方法, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol. 110, No. 382, pp. 65–68 (2011).
- [6] 堀田亮介, 望月茂徳, 大島登志一: MR-Cyborg Soldiers 2: 観客・プレイヤ協調型複合現実感ゲーム, 情報処理学会インタラクション 2015 論文集, pp. 994–998 (2015).
- [7] 永嶋涼平, 酒田信親, 西田正吾: AR オブジェクト操作用タッチパッドインタフェースにおける入力手法の検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 2, pp. 265–274 (2014).
- [8] 平田遼太郎, 石橋朋果, チェカネイ, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: DOMINO Toppling: 実物体と仮想物体のシームレスな遷移を可能にした MR アトラクション, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 3, pp. 463–472 (2016).

正誤表

本稿にて、LaTeXのタイプセットミスによる誤植が発生しているため、正誤表を掲載致します。読者および関係者の皆様に、ご迷惑をおかけしましたことを、深くお詫び申し上げます。

ページ	段落	行	誤	正
P.2	1	3	技術が広まりつつある?.	技術が広まりつつある [2], [3], [9].
P.1	2	2	手法が提案されている?.	手法が提案されている[5], [7].
P.2	1	2	カーソルに反映する必要がある?.	カーソルに反映する必要がある[3].
P.2	3	3	操作する手法を提案している?.	操作する手法を提案している[7].
P.2	4	8	インタラクションを行っている?.	インタラクションを行っている[6].
P.2	5	8	仮想オブジェクトを操作することが可能である?.	仮想オブジェクトを操作することが可能である[1].
P.2	6	4	仮想オブジェクトを操作する手法を提案している?で.	仮想オブジェクトを操作する手法を提案している[4]で.
P.3	3	3	重畳する(図??の Virtual Hand 参照).	重畳する(図 3 の Virtual Hand 参照).
P.4	2	4	ポインタとなる円状の画像(図??の左参照)	ポインタとなる円状の画像(図 4 の左参照)
P.4	2	7	各ボタンに応じた画像に切り替わる(図??の右参照).	各ボタンに応じた画像に切り替わる(図 4 の右参照).
P.4	2	10	重畳することができる(図??の Object 参照).	重畳することができる(図 2 の Object 参照).
P.4	6	2	140 cm の 2 箇所(図??の A, B 参照)	140 cm の 2 箇所(図 5 の A, B 参照)
P.4	6	4	90 cm の 2 箇所(図??の C, D 参照)	90 cm の 2 箇所(図 5 の C, D 参照)
P.5	2	1	投射距離ごとのマーカ認識率を表??に示す.	投射距離ごとのマーカ認識率を表 1 に示す.