



RV-XoverKit : エドテインメント分野での MR コンテンツ制作に適したツールキット(2) ～ハンドジェスチャを利用した仮想物体配置支援システム～

福田裕美¹⁾, 石田隼也¹⁾, 木村朝子¹⁾, 柴田史久¹⁾

1) 立命館大学 大学院情報理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要 : 我々は, 現実(R)空間と仮想(V)空間の相互間で移動物体の動きを伝達できる RV-XoverKit を開発してきた. 本ツールキットを使用する際, 現実物体と仮想物体が相互作用するように配置することが肝要となるが, これまではツールキットの配置についてはコンテンツ開発者の試行錯誤に委ねていた. そこで本稿では, コンテンツ開発者が現実空間と仮想空間が見かけ上滑らかに繋がって見えるような位置に仮想物体を配置できる配置支援システムを提案する.

キーワード : 複合現実遷移, 配置支援アプリケーション, ハンドジェスチャ

1. はじめに

複合現実感(Mixed Reality; MR)の概念が登場してから既に四半世紀が経過し, 今後は様々な分野へとその応用先が広がることが予想される[1]. 現実空間に, シミュレーション結果などを高精度な CG として重畳描画することは MR 技術が得意とすることである. しかし, 今後より一層の表現力向上を目指す上で, 現実存在する物体と仮想物体を組み合わせた MR コンテンツの制作は重要な研究課題といえる. これを実現することで, 例えば, 実在する機器の一部分を新しいものに置き換える際に, 全体としてどのような動きになるのかを実在する機器とシミュレーションを組み合わせた形で確認することができる.

このような現実の物体と仮想の物体を組み合わせたより高度な MR コンテンツを開発するには, 現実(R)に仮想(V)を重畳描画した際に, 現実(R)と仮想(V)が相互に影響を及ぼすような仕組みが必要となる. すなわち, R 空間で物体が動的に変化した際に, その変化が V 空間の物体へ影響する, もしくは逆に V 空間の物体の変化が R 空間へ影響することを表現する必要がある.

我々は, これを「複合現実遷移」と呼び, この技術の体系化を目指しており[2], この概念を実行できるツールキットの 1 つとして, RV-XoverKit というツールキットを開発した[3]. このツールキットは現実と仮想のそれぞれの境界, RV 境界において, 境界間で物体が変化・変形した際にその情報を伝達することができるツールキットである. このツールキットを使用することで, 開発者はより簡単に高度な MR コンテンツを開発することができるように

なった. その実用例として, NHK E テレの教育番組『ピタゴラスイッチ』に登場するピタゴラ装置を題材とした MR アトラクション「三代目 MR ピタゴラ兄妹 with RV-XoverKit」を開発した[4].

これまでの筆者らの研究グループで行われている研究では, RV-XoverKit を使用して MR コンテンツを開発する際に, V 空間の物体が R 空間と滑らかに繋がるように配置する手法については開発者の試行錯誤に委ねていた. そのため使用する HMD などの機器によるズレにより, 手動での配置では仮想物体が表示したい位置からズレが発生してしまう問題が発生することがあった. そのため本稿では, 仮想物体の配置を視覚的・直観的に開発者が決定できる配置支援システムの概要とその実装事例を紹介する.

2. 使用するツールキットについて

2.1 RV-XoverKit とは

筆者の研究グループでは, R 空間に存在する物体の動的現象をセンサで計測し情報として取得したのち, その情報を元に対応する仮想空間の物体の動的現象に反映させること, そしてその逆の動作を総称して「R-V 越境転移」(R-V Crossover Rendition)と呼んでいる. 「R-V 越境転移」は更に, R-V 境界間で動物体の形状や表面属性, 力学的状態がそのまま引き継がれたように見える伝達である「R-V 遷移」(R-V Transition)と, RV 境界面での伝達の際に情報として取得した物体の動的現象を簡略化・変換などを行って伝達する「R-V 情報伝達」(R-V Message

Transmission)の2つに分けられる。我々は、「R-V 遷移」を実現する具体的なツールキットを RV-TransitionKit, 「R-V 情報伝達」を実現する具体的なツールキットを RV-MessengerKit と呼称し、両者をまとめたツールキット全体を RV-XoverKit と呼んでいる。RV-TransitionKit は、V 空間でより現実に近い環境を構築しシミュレーションの際に使用し、RV-MessengerKit はエデュテインメント分野などで、より容易に使用が可能である。詳しい実装内容に関しては、文献[2][3]を参照されたい。

2.2 配置支援システムについて

これまでの RV-XoverKit に関する研究では、センサの前に置かれた R 空間の動的現象を情報として取得し、その情報を用途に応じて過不足なく V 空間へ伝える、もしくは V 空間の動的現象を、アクチュエータを用いて R 空間へ伝えることにスポットを当てて開発してきた。そのため、R 空間から見かけ上繋がって見えるように配置する V 空間の仮想物体を実際にどのように配置するかは、ツールキット使用者の手動配置などに委ねていた。しかし、このような配置方法では、環境設定や使用機器が変わることによってズレが生じ、実際に HMD を装着して MR 空間を見た際に明らかに繋がって見えないように描写されてしまうことがある。これを回避するには、RV 境界間での伝達に使用する RV-XoverKit のセンサ・アクチュエータ (ハードウェアユニットと呼ぶ) の MR 空間における 3 次元座標を計測し、仮想物体が見かけ上 R 空間の物体と繋がって見えるようにすることができれば良い。このように事前に登録した仮想物体の配置を視覚的・直観的に行い、配置した座標を記録した上で、シミュレーションとして動かす際に、記録した 3 次元座標へ仮想物体を描画するシステムが、本稿で提案する配置支援システムである。

3. 配置支援システム

3.1 概要

配置支援システムは、MR コンテンツ開発の中で使用者が R 空間・V 空間両方の構築を終えていて、仮想物体の位置が確定していない時に視覚的・直観的に仮想物体を操作し、実際に繋がっているように見えるかどうかを確認しながら仮想物体の座標登録を行えるようなシステムである。これを実現するには、1)コントローラを必要とせず、仮想物体を実際に掴んで動かす事ができるハンドトラッキング機能が有する、2)現実空間を直接視認できる光学シースルー方式の HMD である、という 2 つの条件を満たすデバイスが好ましい。これを満足するデバイスとして本研究では Microsoft HoloLens2 を配置の際の HMD として採用し、実物体と仮想物体が繋がっているように見えるかの判定には AR ライブラリである Vuforia を使用することとした。Vuforia Object Scanner というアプリで保存できる 3D オブジェクトデータをマーカーとして登録し判定を行う。しかしながら、HoloLens2 は光学シース

ルー方式で仮想物体が透過されて描画されるため、シミュレーション結果の体験には適切ではない。さらに体験時には、RV-XoverKit の制御のために、PC と有線で接続し Arduino やマインドストームと通信する必要がある。そのためハードウェアユニットの座標を保存した後、R 空間と V 空間が相互作用している MR 体験を行う際にはビデオシースルー方式の HMD である HTC VIVE Pro に、画質の向上のため ZED mini を取り付けたものを使用し MR 体験をするという 2 段階のシステムとした。体験の流れとしては、以下のようになる。

- (1) HoloLens2 で VIVE Pro との原点調整を画像マーカーを使用して行う
- (2) Vuforia のマーカー認識で登録したハードウェアユニットを認識させる
- (3) ハンドトラッキング機能を用いて伝達可能な位置へ仮想物体を配置し座標を保存
- (4) 保存した座標を使用して VIVE Pro で MR 体験を行う

また、このシステムを実装するに当たって必要な機能は以下になる。

- ・原点位置調整機能
- ・伝達位置の判定機能
- ・位置調整機能
- ・調整結果共有機能

原点位置調整機能は HoloLens2 と VIVE Pro の 2 種類の HMD を使用するため座標系を統一するための機能である。伝達位置の判定機能は仮想物体が意図した位置に配置されているかをマーカーを用いて判定する機能となる。その配置を行うために位置調整機能が必要となり、調整した結果を VIVE Pro で利用できるように出力する機能が調整結果共有機能となる。これらの機能の具体的な実装内容に関しては次節で説明する。

3.2 システム構成

今回実装した配置支援システムは Unity を用いて使用することを前提としており、HoloLens2 で配置を行うために使用するプロジェクトと、MR 体験をするためのプロジェクトの 2 つが必要となる。プログラム構成は図 1 のようになる。

このシステムでは「現実から仮想へ入りまた現実へ出てくるまで」を 1 つの仮想物体とし、Part1, Part2... というように番号を割り振ることで複数の V 空間の仮想物体を別々に操作することができる。また HoloLens2 のハンドジェスチャ機能は装着者によって操作に慣れるまでに差が発生するため、仮想物体を特定の間隔でグリッドのように移動させる機能や、特定の角度ごとで回転させる機能を実装した。加えて、特定の軸方向に移動させたくない・回転させたくない際に、指定した軸方向には移動させない・回転させないように位置変更を制御する機能も実装しているため、前後移動をさせたくない、縦方向には回転しない、などといった指定を仮想物体ごとに行

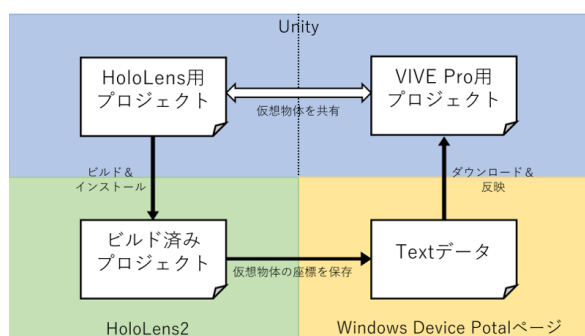


図 1 プログラム構成

えるようになっている。

原点位置調整機能には、Vuforia の AR マーカとして、図 2 のような画像マーカを利用する。仮想物体を表示する前に画像マーカを HoloLens2 に認識させることで、この画像マーカを配置した座標が HoloLens2 でのプロジェクトの原点位置となる。VIVE Pro としての原点座標にこの画像マーカを合わせることで、HoloLens2 で保存した座標を VIVE Pro 側に反映させた際に同じ位置に仮想物体が表示されるようになる。

伝達位置の判定機能には、センサ・アクチュエータなどのハードウェアユニットを HoloLens2 上で認識した際の座標を利用する。Vuforia Object Scanner で登録を行ったハードウェアユニットは、図 3 のように HoloLens2 を装着した状態で認識すると赤枠で囲われ描画される。一度 HoloLens2 でハードウェアユニットを認識し赤枠が表示された後に、移動したことで赤枠の表示位置にズレが発生した場合は、再度ハードウェアユニット全体が視界に映るように認識し直すことで正しい位置に表示し直すことが可能である。図 2 中の白い板が RV 間の接続を判定する判定検知範囲であり、この判定検知範囲と 1 つの Part の複数の仮想物体の中でどれが対応する仮想物体かを指定しておくことで、ハードウェアユニットの判定検知範囲と指定した仮想物体が重なった位置に表示された際、ハードウェアユニットの赤枠が緑色に変化する。この状態を見かけ上仮想物体が現実の物体に対し滑らかに繋がっている位置に配置できた状態とみなす。特定の Part の仮想物体の入口・出口に当たるハードウェアユニットを一意に指定することも可能なため、複数の仮想物体やハードウェアユニットを同時に使用していても特定の組み合わせでないと繋がっていると認識しないように設定することも可能である。

仮想物体の位置調整機能に関して HoloLens2 のハンドトラッキング機能を使用している。操作の途中で仮想物体の位置をリセットしたり、誤操作してしまった操作を元に戻すことができるよう、HoloLens2 のハンドメニューを実装した。図 4 は実際に使用するハンドメニューであり、上から 1 回前の操作に戻す Redo、1 回次の動作へ動かす Undo、仮想物体の位置を初期状態へ戻す Reset、仮想物体の座標を保存する Finish の 4 つの項目が存在する。ここでいう操作とは HoloLens2 のハンドトラッキング機

能を用いて仮想物体を掴み、仮想物体を移動させ手を放すまでの動作のことを言い、Redo と Undo はそれぞれ 5 回分の操作を元に戻す・先に進めることができる。

Finish ボタンを押すことで仮想物体の座標はテキストファイルとして出力され、保存されたテキストファイルはペアリングを行った PC から使用した HoloLens2 の Device Portal ページにアクセスすることでダウンロードする。

座標を保存した後の調整結果の共有には、ダウンロードしたテキストファイルを VIVE Pro 用の Unity プロジェクトの Assets フォルダ中に Resources フォルダを作成してその中へ保存することで使用する。この際 HoloLens2 側のプロジェクトと VIVE Pro 側の仮想物体は共有されている状態となり、同じ仮想物体を同じ Part 番号にした上で実行することで、実行中の仮想物体の座標を HoloLens2 で保存した座標へ書き換えることができる。HoloLens2 側のプロジェクトで座標を変更した際は、Unity プロジェクト内に入れているテキストファイルを新しいものに更新するだけで MR 体験時の座標を更新することが可能となる。

これらの仕組みを活用することで、コンテンツ開発者は滑らかに R 空間と V 空間が繋がって見えるように仮想物体を配置することができる。

4. システムの使用例

この章では実際に使用している例を図を用いて説明する。センサとして図 5 のタッチセンサを、アクチュエータとして図 6 のモータをそれぞれ登録し、仮想物体として図 7 の仮想ドミノを使用する。図 8 にあるように現実のドミノが倒れタッチセンサに触れ V 空間に入り、V 空間からアクチュエータを通して現実のドミノが続けて倒れるといった状況を想定した際に、図 7 の仮想物体を見かけ上繋がっているように見える位置へ配置することを

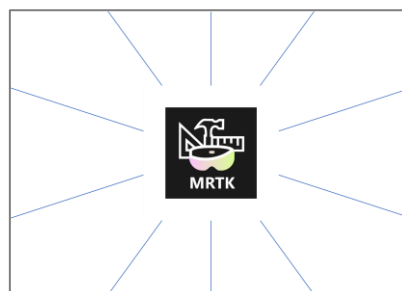


図 2 原点マーカ画像

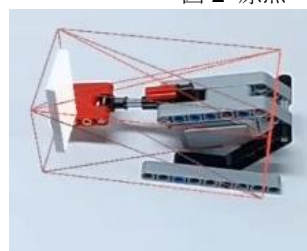


図 3 登録したマーカ

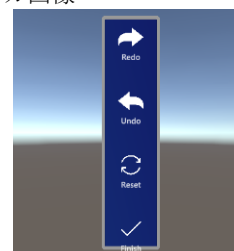


図 4 ハンドメニュー

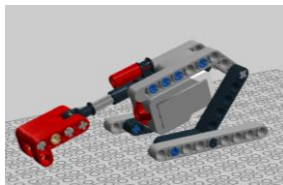


図 5 使用するセンサ

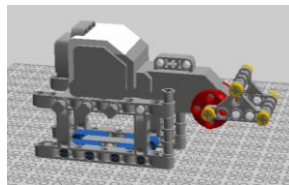


図 6 使用するモータ

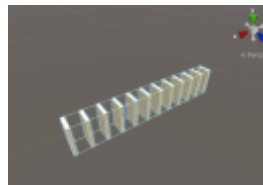


図 7 使用する仮想物体



図 8 実用例全体像



(a) 原点座標認識



(b) 仮想物体配置



(c) MR 空間表示

図 9 体験の様子

想定する。

HoloLens2 にインストールしたビルド済みのプロジェクトを起動すると、最初に原点座標を決定するためのウィンドウが出現する。これは 3 章の手順(1)の HoloLens2 と VIVE Pro の原点座標を合わせるためのものである。図 9(a)のように原点登録用のマーカを認識し、マーカに重なるようにプロジェクトの座標軸を表すオブジェクトがマーカの中心に垂直に表示されているのを確認しながら表示されているウィンドウの YES ボタンを押すと、読み込みの後登録した仮想物体が表示される。この状態で左右どちらかの手を HoloLens2 のカメラに写すとハンドメニューが表示される。また 3 章の手順(2)のハードウェアユニットの認識を行うのはこの時となり、仮想物体を移動させる前に登録しているハードウェアユニットすべてを認識しておくことでスムーズに配置を行うことができる。その後 3 章の手順(3)にあるようにハンドトラッキング機能を利用し手で仮想物体を掴み移動させ、認識したセンサ・アクチュエータの両方の枠が緑色になるように仮想物体を配置し(図 9(b))、この状態で図のハンドメニューの Finish を押しダイアログウィンドウから OK ボタンを押すと、座標がテキスト形式で保存される。図 9(c)は保存したファイルを MR 体験用のプロジェクトの Resource フォルダに配置して実行した様子で、3 章の手順(4)に当たる。HoloLens2 で保存した座標と同じ座標に仮想物体が表示されていることが、VIVE Pro に取り付けられた ZED mini の視界で確認できる。

現状の問題点として、HoloLens2 でのハンドトラッキングによる仮想物体の操作に慣れがあるかによって配置のしやすさが変化するという問題が存在する。このシステムには、ハンドトラッキングによる仮想物体の操作に慣れていない人向けにグリッド移動や特定の角度ごとの回

転、特定の方向へ動かないように移動を縛る機能があるが、この機能を有効にした場合、グリッド移動や特定の角度に回転した際の仮想物体の入り口・出口に当たる部分がセンサ・アクチュエータの判定範囲と丁度の位置に存在しない場合はその仮想物体は配置を完了することができない。また仮想物体が複数存在する場合において配置を完了させ別の仮想物体を配置しようとした際に配置完了した仮想物体を誤って動かしてしまうことがあり、配置を確定させたものに関しては位置を固定させる仕組みを実装する必要がある。

5. まとめ

本研究では、RV-XoverKit というツールキットを使用時に、仮想物体の配置をコンテンツ開発者が視覚的・直観的に決定できる配置支援システムの設計と実装について述べ、実際の使用事例も紹介した。この配置支援システムを利用することで、これまでコンテンツ開発者に委ねていた仮想物体の配置をよりスムーズに行え、MR コンテンツの創造力が更に向上することが期待できる。

参考文献

- [1] 柴田: 複合現実感技術の歴史と今後の展望, システム/制御/情報, Vol. 64, No. 9, pp.343 - 348, 2020.
- [2] 石田, 他: R-V 空間相互間で運動状態を伝達する複合現実遷移モジュールの開発, 日本 VR 学会複合現実感研究会, MR2020-13, Vol.23, No. 1, pp. 1 - 6, 2020.
- [3] 敷島, 他: RV-XoverKit: エドゥテインメント分野での MR コンテンツ制作に適したツールキット, 第 26 回日本 VR 学会大会論文集, 2D1-1, 2021.
- [4] 福田, 他: 三代目 MR ビタゴラ兄妹 with RV-XoverKit~エドゥテインメント作品制作に適したツールの利用例~, 同上, 2D1-2, 2021.