



身の周りの実物体を仮想空間で用いる タンジブル AR ゲーム

漆坂悠¹⁾, 入山太嗣¹⁾, 小室孝¹⁾

1) 埼玉大学 理工学研究科 (〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

概要: 本研究では, 身の周りの実物体を仮想空間で用いることができるタンジブル AR ゲームを提案する. タンジブル AR ゲームでは, 一般物体検出および姿勢推定をリアルタイムで行い, 実物体の位置姿勢に合わせた仮想エフェクトを重畳することで, ユーザに視覚フィードバックを与える. これにより, ユーザは, 身の周りの実物体を用いた直感的なインタラクションを行い, 臨場感のあるゲーム体験をすることができる. また, RGB-D カメラおよび ARHMD を使用した, タンジブル AR ゲームのアプリケーションの実装例を示す.

キーワード: アート・エンタテインメント, HMD, 拡張・複合現実

1. はじめに

近年, Meta Quest や Microsoft HoloLens などの Head Mounted Display(HMD) の登場によって, ゲームをはじめとする VR/AR 体験は社会に浸透しつつある. ユーザは, これらの HMD を用いることで, 高い没入感のある VR/AR 体験を得られる. しかし, それらのインタラクションは専用のコントローラを使用して行う場合が多く, ユーザが行えるインタラクションの種類には限りがある.

仮想空間で実物体を用いて, 触覚や力覚フィードバックを保持した VR/AR インタラクションを提案した研究がいくつか存在する [1], [2], [3]. これらの研究では, 仮想空間で, ユーザの周囲にある実物体を同じ形状の仮想オブジェクトに置換して, ユーザに実物体を操作させることで, 仮想オブジェクトの視覚フィードバックおよび疑似的な触覚・力覚フィードバックを提供する手法を提案している. また, ユーザの手足や実物体をトラッキングして, 実物体と同じ位置姿勢に仮想オブジェクトを配置することで, 実物体を用いた「ハンドルを回す」や「叩く」などの複雑なインタラクションを実現した研究も存在する [4]. ユーザが手に持って操作できる実物体を用いて, 複数のフィードバックの組み合わせることで, VR コントローラなどの専用のデバイスを使用する場合に比べて, より自然で直感的な VR/AR インタラクションを可能にしている.

VR/AR ゲーム体験の臨場感の向上や楽しさの探求を目的とした, ユーザが触れることのできるタンジブルな実物体を用いたインタラクションによる VR/AR ゲーム体験を実現した研究がいくつか存在する. Günther らは, タンジブルな実物体であるチェスの駒を使用した, 遠隔地のユーザ間の視覚的な臨場感と触覚フィードバックを保持したチェスゲームを実現した [5]. Lin らは, ユーザの周囲の環境にある実物体のアフォーダンスを積極的に取り入れた仮想環境の生成および仮想環境での「座る」や「握る」などの物理

的なインタラクションを実現して, 仮想体験の没入感を高めた [6]. Fang らは, 家庭環境における日常的な実物体のアフォーダンスおよび触覚フィードバックを用いた VR ゲーム体験の概念実証を行った [7]. これらの研究では, タンジブルな実物体を用いた直感的なインタラクションを仮想空間で実現することで, エンタテインメント体験の没入感や楽しさを向上させる可能性を示している. 一方で, これらの研究は, 実物体を用いたインタラクションを行うために, 事前の実環境の準備や仮想オブジェクトの配置や設定を手動で行う必要がある.

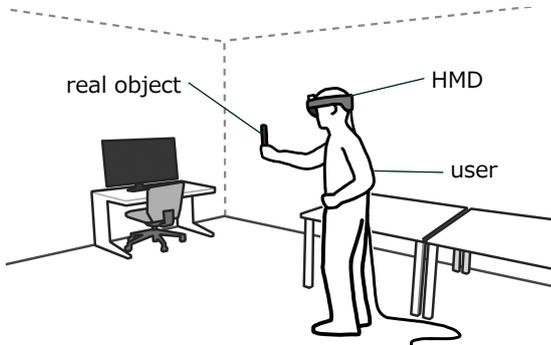
これらの研究を踏まえて, 本研究では, 身の周りの実物体を用いた直感的なインタラクションによる, 高い臨場感のあるゲーム体験を提供するタンジブル AR ゲームを提案する. 提案するタンジブル AR ゲームでは, 一般物体検出および姿勢推定をリアルタイムで行うことで, 身の周りにある実物体の位置・姿勢に合わせた仮想エフェクトの重畳を行い, ユーザに視覚フィードバックを与える. これにより, ユーザは, 実環境を歩き回り, 身の周りから見つけた日常的な実物体を手にとって, 仮想空間で実物体を用いたインタラクションを行うことができる. 本研究は, 周囲の実環境からゲームに利用できそうな実物体を「さがして」「みつける」, そして「手に持って操作する」ことによる, 臨場感や面白さのあるゲーム体験の実現を目的とする.

2. 身の周りの実物体を仮想空間で用いるタンジブル AR ゲーム

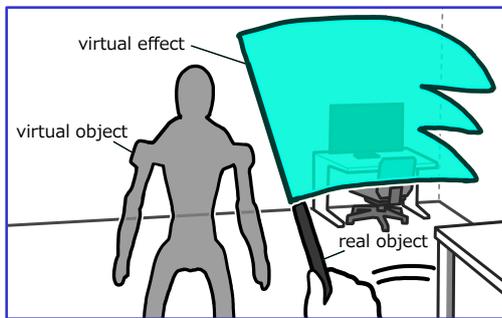
2.1 タンジブル AR ゲームのコンセプト

身の周りの実物体を仮想空間で用いるタンジブル AR ゲームのコンセプトを紹介する. 提案するタンジブル AR ゲームは, 図 1a のような実環境で, 身の周りにある日常的な実物体を用いた直感的なインタラクションによって進行するゲームである. リアルタイムでの一般物体検出および姿勢推定を行うことで, ユーザの視界内に写る実物体の位置姿

勢に合わせた仮想エフェクトを提示する。これにより、図 1b のように、ユーザは、周囲に配置された敵キャラクターなどの完全な仮想オブジェクトに対して、身の周りから見つけた実物体を手を持ち、ゲーム内アイテムとして操作することができる。



(a) タンジブル AR ゲームの外観



(b) タンジブル AR ゲームのユーザ視点

図 1: タンジブル AR ゲームのコンセプト

2.2 長尺物を用いたインタラクションのデザイン

身の周りにある実物体を用いたインタラクションとして、斬撃エフェクトが重畳された長尺物を剣のように振るインタラクションを設計する。ユーザは、周囲の実環境から見つけた細長い実物体を手を持って振ることで、斬撃エフェクトを発生させて、完全な仮想オブジェクトである敵キャラクターに攻撃する。このとき、図 2 のように、ユーザが手に持って操作する長尺物の姿勢および動きに合わせた斬撃エフェクトを重畳する。一定時間、長尺物の位置が留まった際に、その長尺物の先端位置を保存する。次に、長尺物はその保存した位置から一定の距離以上動いた時、その時の長尺物の先端位置に、斬撃エフェクトを配置する。斬撃エフェクトは、その時点の長尺物の向きと現在の先端位置の点から保存した先端位置の点を結んだ直線を含む平面上で、時計回りあるいは反時計回りに流れるようなアニメーションのある仮想エフェクトとする。このとき、斬撃エフェクトの平面の座標系において、その時点の長尺物の向きであるベクトルを x 軸の正の向き、現在の先端位置の点から保存した先端位置の点に向かうベクトルの長尺物の向きと垂直な成分を y 軸の正の向きとする。これにより、保存した位置から現在の位置に向かって流れるようなアニメーションの向きを決定して、斬撃のエフェクトを重畳する。

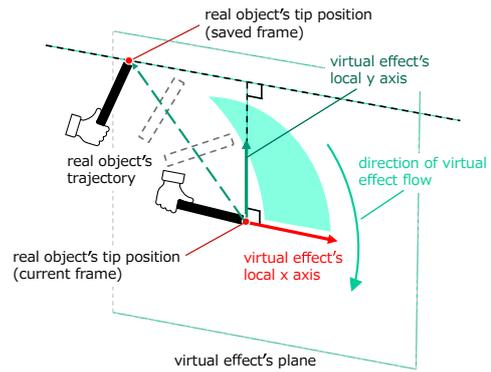


図 2: 斬撃エフェクトの姿勢の決定

3. 実装

長尺物としてボールペンやシャープペンシルなどのペンを剣のように振って、敵キャラクターに近接攻撃を行う、タンジブル AR ゲームのアプリケーションを試作した。

3.1 システム構成

図 3 のような ARHMD の上部に RGB-D カメラを固定したデバイスを使用して、アプリケーションを作成した。ARHMD には、光学式シースルー型 HMD である Microsoft HoloLens2 を使用した。RGB-D カメラには、ToF ベースの Vzense DCAM710 を使用した。RGB 画像およびデプス画像に対するリアルタイムの一般物体検出および姿勢推定の処理は、RGB-D カメラと USB 接続されているデスクトップ PC 上で行った。



図 3: 使用したデバイス。HMD の上部に RGB-D カメラを固定している。

3.2 実物体のリアルタイムの一般物体検出および姿勢推定

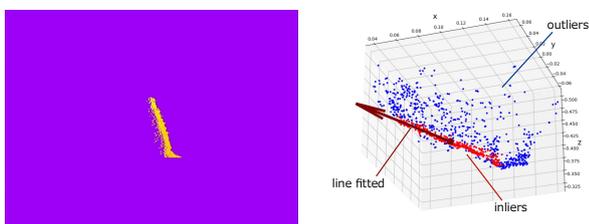
長尺物への仮想エフェクトの重畳に向けて、リアルタイムでの一般物体検出および姿勢推定のマルチスレッド処理を行う。一般物体検出手法には、1546 組のペンの画像とアノテーションから成るオリジナルデータセットで学習させた YOLOv8 のモデルを使用した。リアルタイムの一般物体検出および姿勢推定の一連の画像処理を図 4 に示す。図 4a の YOLO による検出範囲を基に、図 4c のトリミングしたデプス画像を取得する。トリミングしたデプス画像を入力として、Open3D を用いて 3 次元点群を作成する。図 4d の

ように、作成した3次元点群にRANSACを適用することで、外れ値の除去を行うと同時に、直線のフィッティングを行う。RANSACの結果から得た直線から、長尺物の向きを取得する。また、RANSACのインライアのうち、Open3Dの座標空間で奥行き方向の最小値を持つ、RGB-Dカメラから見て最も奥にある点を、長尺物の先端位置として取得する。



(a) 一般物体検出の結果

(b) デプス画像



(c) トリミングしたデプス画像

(d) RANSACによる直線推定

図4: 一般物体検出および姿勢推定

3.3 HMD ユーザ視点での仮想エフェクトの重畳

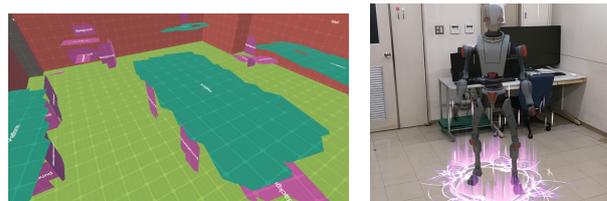
RGB-Dカメラから取得したRGB画像およびデプス画像に対する処理をデスクトップPC上で行っているため、画像処理の結果に基づく仮想エフェクトの姿勢をHoloLens2上のアプリケーションに送信する必要がある。今回は、デスクトップPC上のUnityエディタとHoloLens2上のUnityアプリケーション間で、Unityの仮想空間における仮想オブジェクトの同期を行う、PUN2(Photon Unity Networking2)による通信を行った。これにより、デスクトップPC上のUnityエディタから、HoloLens2の頭部姿勢に対する相対的な姿勢を指定して、仮想エフェクトの姿勢の配置を行った。

3.4 実空間の空間認識

ユーザがいる屋内の環境を認識するために、HoloLens2の空間認識の機能であるScene Understandingを使用した。壁や床、机などの実環境を空間認識した結果を図5aに示す。図5bのように、空間認識した歩行可能な場所に、仮想オブジェクトである敵キャラクターを配置する。敵キャラクターは、ユーザの位置に応じて、実空間における歩行可能な領域で移動を行い、攻撃を仕掛けてくる。

3.5 ゲームプレイ

試作したアプリケーションは、ユーザが、実空間を歩き回って、周囲に出現する敵キャラクターからの攻撃を避けながら、周囲から見つけたペンを剣のように振って、敵キャラクターを攻撃して倒すアクションゲームである。ユーザ

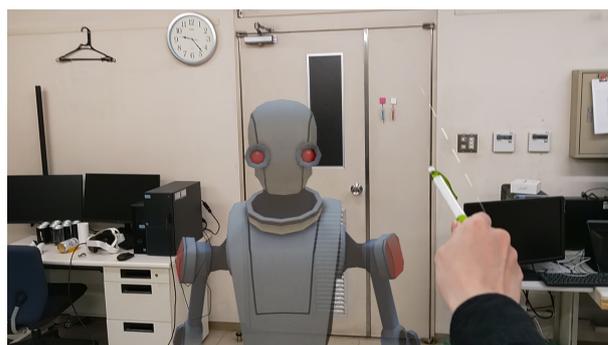


(a) 実空間を空間認識した結果

(b) 敵キャラクターを実空間の床に配置

図5: 空間認識を利用した敵キャラクターの配置

は、ペンを一定時間の間位置を留めるように手に持って掲げた後、その位置から一定距離移動させるようにペンを振ることで、斬撃エフェクトを発生させて、敵キャラクターに攻撃できる。図6は、敵キャラクターや斬撃エフェクトなどの仮想オブジェクトとカメラ映像を合成し、ユーザ視点の映像をシミュレートするHoloLens2の録画機能を用いて、撮影した画像である。図6aから図6bに、ユーザがペンを振ったときの動きに合わせて斬撃エフェクトを重畳し、それに当たった敵キャラクターにダメージを与えている。



(a) ペンを振る前



(b) ペンを振った後の斬撃のエフェクト

図6: ユーザが攻撃した時のゲームプレイ画面

4. おわりに

本研究では、身の周りの実物体を仮想空間で用いることができるタンジブルARゲームを提案した。提案したタンジブルARゲームでは、身の周りの実物体を用いた直感的なインタラクションを実現し、身の周りにある日常実物体をゲームに利用する面白さや高い臨場感のあるゲー

ム体験の提供が期待できる。また、RGB-D カメラおよび ARHMD を使用して、タンジブル AR ゲームのアプリケーションを試作した。今後の課題として、より多くのバリエーションの実物体を用いたインタラクションを実装することが挙げられる。

また、試作したアプリケーションを用いた、提案するタンジブル AR ゲームの体験の臨場感や面白さなどの評価実験を行う予定である。

謝辞 本研究を行うにあたり、HMD の上部に RGB-D カメラを固定する器具を製作して頂いた高宮健吾博士をはじめとする埼玉大学総合技術支援センター 3D-Design プロジェクトの皆様へ感謝いたします。

参考文献

- [1] A. L. Simeone, E. Velloso, and H. Gellersen. Substitutional reality: Using the physical environment to design virtual reality experiences. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, pp. 3307–3316, 2015.
- [2] B. Eckstein, E. Krapp, A. Elsässer, and B. Lugrin. Smart substitutional reality: Integrating the smart home into virtual reality. *Entertainment Computing*, Vol. 31, p. 100306, 2019.
- [3] A. Hettiarachchi and D. Wigdor. Annexing reality: Enabling opportunistic use of everyday objects as tangible proxies in augmented reality. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*, pp. 1957–1967, 2016.
- [4] L. Shapira, J. Amores, and X. Benavides. TactileVR: Integrating physical toys into learn and play virtual reality experiences. In *Proceedings of 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2016)*, pp. 100–106, 2016.
- [5] S. Günther, F. Müller, M. Schmitz, J. Riemann, N. Dezfuli, M. Funk, D. Schön, and M. Mühlhäuser. CheckMate: Exploring a tangible augmented reality interface for remote interaction. In *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '18)*, pp. 1–6, 2018.
- [6] C. Lin, T. Y. Cheng, and X. Ma. ARchitect: Building interactive virtual experiences from physical affordances by bringing human-in-the-loop. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*, pp. 1–13, 2020.
- [7] C. M. Fang, R. Suzuki, and D. Leithinger. VR haptics at home: Repurposing everyday objects and environment for casual and on-demand vr haptic experiences. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '23)*, No. 312, pp. 1–7, 2023.