

タンジブル AR ゲームに向けた 実物体への仮想エフェクトの重畳

漆坂 悠¹ 入山 太嗣¹ 小室 孝¹

概要: 本研究では、実物体をゲームオブジェクトとして利用する新たな AR ゲーム体験に向けた、実物体に対する視覚的な仮想エフェクトの重畳を提案する。ユーザは、光学式シースルー型 HMD を通して、実物体への仮想エフェクトの重畳を視認する。実物体の形状や姿勢に適した仮想エフェクトの重畳を行うために、HMD に搭載された RGB カメラおよびデプスカメラを利用し、実物体検出および形状・姿勢推定を行う。実物体への仮想エフェクトの具体的なデザインを示し、そのエフェクト重畳の実装例を示す。

1. はじめに

近年、コンシューマゲームのハードウェアの性能向上や VR/AR ゴーグルの普及などによって、ゲームをはじめとする VR/AR 体験は幅広いユーザにとって身近なものとして認識され始めている。ユーザは没入感や臨場感のある VR/AR 体験を得られるが、それらのインタラクションは専用のコントローラを用いて行う場合が多い。そのため、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。

仮想環境における没入感の向上を目的とした、実環境を利用した仮想環境の生成に関する研究 [1], [2] や実環境の自由な歩行の利用に関する研究がある [3]。これらの研究は、ユーザの実際の歩行や実物体の触覚フィードバックを取り入れることで、仮想体験における没入感を高める目的を持つ。

仮想体験内でユーザが自然でより直感的なインタラクションを行うことを目的とした、タンジブルな AR インターフェースに関する研究がある [4], [5], [6]。これらの研究では、ユーザが実際に触れられる実物体を操作することで、仮想オブジェクトへの自然で直感的なインタラクションが可能となった。しかし、これらの研究では仮想体験のための専用の実物体を用意する必要がある。

また、ユーザの実環境にある物体やその動作に対しての仮想エフェクトの重畳を利用した、視覚的インタラクションに関する研究がある [7], [8]。これらの研究では、実物体に対して視覚的に仮想のエフェクトを提示することで、ユーザの実物体へのインタラクションに対して視覚的フィードバックを与えることを実現した。ユーザは、実物

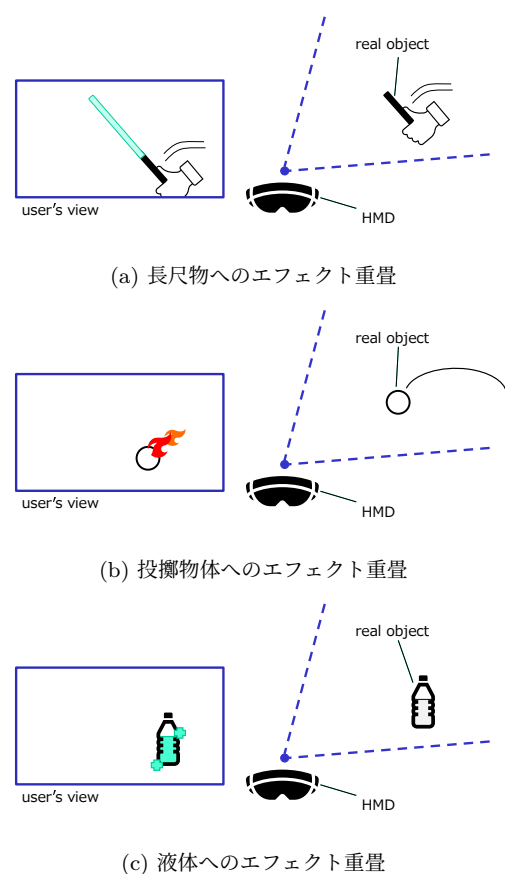
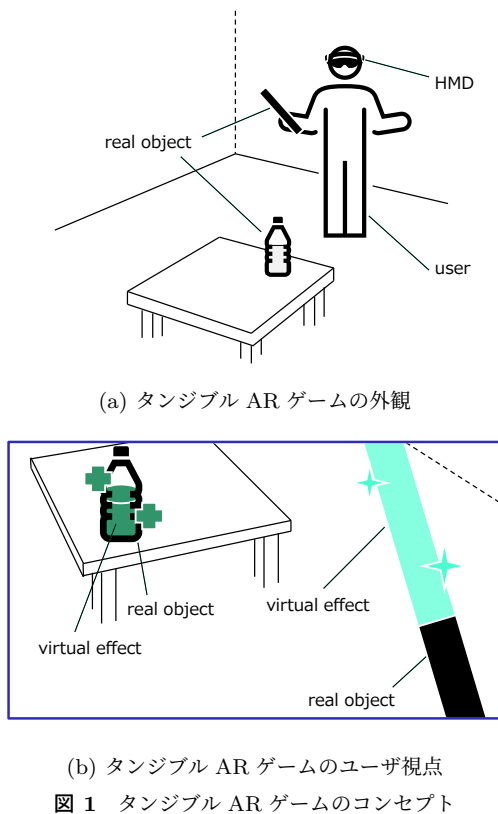
体へのインタラクションに対する仮想のエフェクトを視認することで、実物体の操作が仮想体験内に取り入れられていることが分かる。

これらの研究を踏まえて、本研究では、実物体とのインタラクションを取り入れるタンジブル AR ゲームに向けた、実物体への仮想エフェクトの重畳を提案する。提案手法では、仮想エフェクトの重畳によって、ユーザの操作する実物体に対して仮想的な視覚フィードバックを与える。ユーザが日常的に使用する実物体を AR ゲームオブジェクトへ拡張し、そのインタラクションを取り入れる新たな AR ゲーム体験を目的とする。例えば、ユーザが実物体に対して行える「投げる」や「飲む」などのインタラクションを、AR ゲーム体験に取り入れる。HMD を装着したユーザの視点から見た実物体への仮想エフェクトの重畳を行うために、そのデバイスに搭載された RGB カメラおよびデプスカメラを利用する。RGB 画像に対するリアルタイム一般物体検出の検出範囲でデプス画像を切り取ることで、実物体の検出範囲内の 3 次元情報を利用する。実物体の 3 次元情報から位置や姿勢などの推定を行うことで、実物体への仮想エフェクトの重畳を実現する。

2. 実物体へのエフェクト重畳によるタンジブル AR ゲーム

本研究で提案する実物体へのエフェクト重畳を利用するタンジブル AR ゲームのコンセプトを紹介する。ユーザが装着する HMD を光学式シースルー型とすることで、ユーザは実際に自身が見ている視界内の実環境へ重畳されたエフェクトを視認することができる。図 1a のように HMD を装着したユーザが実環境を歩き回り、その実環境内を見

¹ 埼玉大学大学院理工学研究科



渡して特定の実物体を発見し、それを手に持って操作することによって、仮想シーンにフィードバックが与えられゲームを進行する。図 1b のようにゲームに取り入れる実物体がユーザの視界内に写ったときや実物体を手に持ったときなどに、それぞれの実物体に仮想のエフェクトが適切なタイミングで重畳されることをユーザの視点から確認できる。

3. 実物体への仮想エフェクトの重畳

3.1 仮想エフェクトのデザイン

実物体を AR ゲームオブジェクトとして利用することに向けた、実物体へ重畳する仮想エフェクトの具体的なデザインを 3 つ提案する。ユーザが手に持つ長尺物に対する光の刀身のエフェクト、ユーザが投擲する実物体の動きに合わせた軌跡のエフェクト、透明な容器に入った液体の形状に合わせた色変換のエフェクトを図 2 に示す。ユーザは、ゲーム内での敵キャラに対する攻撃手段として長尺物や投擲物体を利用することができる。また、実際の液体を飲むことで、ゲーム内での体力回復や能力変化などの効果を得られる。

3.2 リアルタイム一般物体検出

エフェクト重畳の目標となる実物体を検出するため、HMD に搭載された RGB カメラから取得した画像に対してリアルタイムで一般物体検出を行う。一般物体検出を利用することで、ユーザの実環境に依存することなく、一定

の特徴を持つ実物体を検出する。

3.3 デプス画像を利用した実物体の形状・姿勢推定

HMD に搭載されたデプスカメラから取得したデプス画像における実物体の検出範囲内の 3 次元情報を利用することで、実物体の形状および姿勢の推定を行う。デプス画像のうち実物体が検出された範囲内のデプス情報のみを利用し実物体の形状を推定する。次に、そのデプス画像を用いて 3 次元点群を作成し、3 次元点群の 3 次元座標の平均を算出することで実物体の中心位置の推定する。また、3 次元点群の主成分分析から第 1 主成分ベクトルを得ることで、実物体の姿勢の推定を行う。これにより、実物体の形状や中心位置、姿勢、動きに合致した最適な仮想エフェクトの AR 重畳を行うことができる。

4. 実装

一般物体検出および形状・姿勢推定による実物体へのエフェクト重畳が可能であるか検証するため、RGB-D カメラのみを使用し、実物体への仮想エフェクトの重畳を実装した。RGB-D カメラから取得された RGB 画像に対するエフェクト重畳を PC ディスプレイから確認した結果を示す。

次に、ユーザから見た実物体へのエフェクト重畳が実現可能であるか検証するため、RGB-D カメラおよび HMD

を使用し、HMD ユーザの視点から見た実物体への仮想エフェクトの重畳を実装した。HMD を装着したユーザの視点から見た長尺物へのエフェクト重畳の結果を示す。

4.1 一般物体検出および形状・姿勢推定によるエフェクト重畳

RGB-D カメラのみを使用し、一般物体検出および形状・姿勢推定を行い、RGB-D カメラから取得された RGB 画像に対するエフェクト重畳を実装した。RGB 画像に対するリアルタイム一般物体検出には YOLOv3、デプス画像を用いた 3 次元点群の作成には Open3D を使用した。

長尺物を例に、実物体の形状および姿勢推定を行う一連の画像処理を示す。RGB 画像に対して一般物体検出を行った結果を図 3a に示す。デプス画像と RGB 画像の間では、カメラの位置や姿勢、画角などの外因性のずれが生じる。今回は、使用した RGB-D カメラの SDK に含まれる関数を用いて、図 3b のような RGB 画像におけるカメラの姿勢および画角に補正されたデプス画像を取得した。図 3c のように、デプス画像を実物体の検出範囲でトリミングすることで、対象となる実物体のデプス情報のみを利用する。次に、トリミングしたデプス画像を入力として作成された 3 次元点群の平均の算出と主成分分析を行った。3 次元点群の平均の算出および主成分分析の結果を図 3d に示す。

この推定の結果を用いた長尺物へのエフェクト重畳の例を図 4b に示す。ペンの推定された姿勢に基づき、光の刀身のエフェクトが重畳されたことが確認された。しかし、ペンの検出範囲内にある手がペンを遮蔽してしまう場合に、姿勢推定が難しくなった。

投擲物体へのエフェクト重畳の例を図 4d に示す。ボールが図 4c の位置から図 4d の位置に移動したとき、軌道のエフェクトを重畳された。

また、液体へのエフェクト重畳の例を図 4f に示す。透明なペットボトルの容器に入った液体の形状に合わせて、色変換のエフェクトの重畳がされたことが確認された。

4.2 HMD ユーザ視点の長尺物へのエフェクト重畳

RGB-D カメラおよび HMD を使用し、HMD を装着したユーザの視点から実物体へのエフェクト重畳を実現した。RGB-D カメラである DCAM710 および光学式シースルー型 HMD である HoloLens2 を使用した。図 5 のように、HoloLens2 の上部に RGB-D カメラを固定することで、HMD ユーザの視点に近い位置から RGB 画像およびデプス画像を取得した。長尺物の検出および姿勢推定は、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。推定の結果によるエフェクトの位置を HoloLens2 に送信する必要があるため、PUN2 (Photon Unity Networking 2) による Unity のオンライン通信を行った。また、姿勢

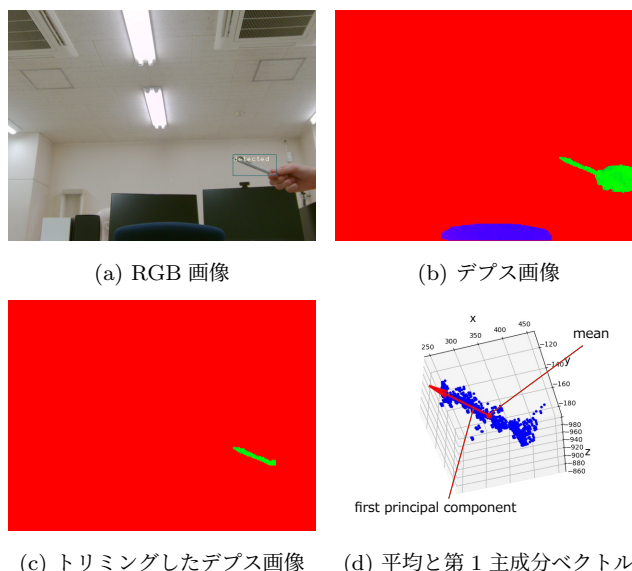


図 3 実物体の形状および姿勢推定

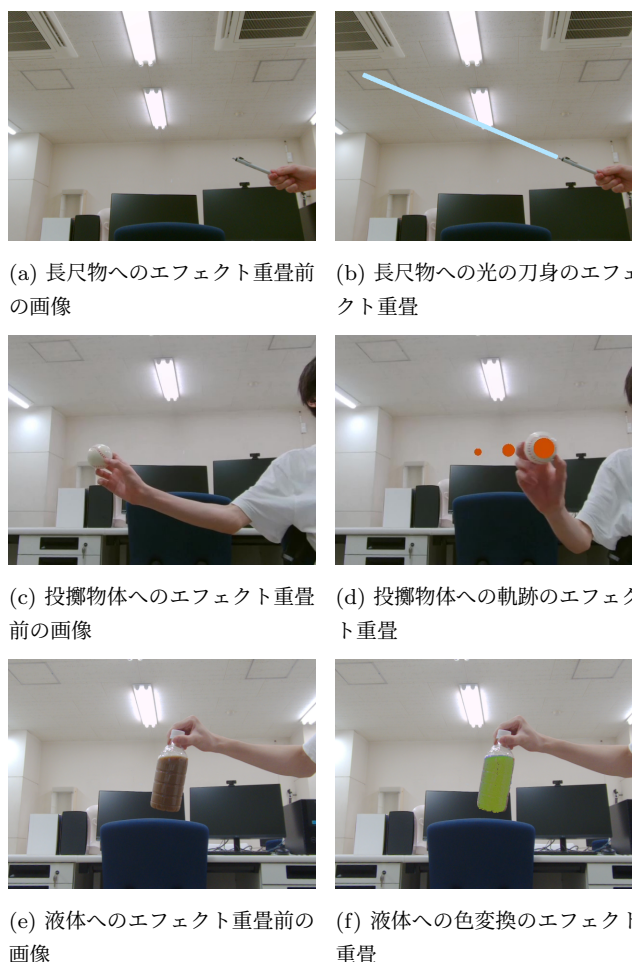


図 4 実物体へのエフェクト重畳の例

推定から得られる長尺物の位置は RGB-D カメラを原点とした位置であり、HoloLens2 のカメラ位置を原点とした位置に補正する必要がある。図 5 の使用したデバイスでは、RGB-D カメラと HoloLens2 のカメラの主点の水平位置を一致させるように固定した。デスクトップ PC の Unity ク



図 5 使用したデバイス。RGB-D カメラを HMD 上部に固定している。



図 6 HMD 視点から見た長尺物へのエフェクト重畳の例

クライアントが、2つのカメラ間の垂直方向と奥行き方向の距離の分移動させた位置に仮想エフェクトを配置した。これにより、HoloLens2 の Unity クライアントにおいて、HMD ユーザ視点から見た長尺物の位置に合ったエフェクト重畳を確認した。図 6 は、仮想エフェクトの配置とカメラ映像を合成し、ユーザの視点の映像を再現する HoloLens2 のキャプチャ機能を用いて撮影した画像である。ペンの推定された姿勢に応じて、光の刀身のエフェクトが重畳されたことが確認できた。しかし、一般物体検出および姿勢推定の一連の処理時間によって、仮想エフェクトの配置に遅延が生じた。これは、一般物体検出の推論と姿勢推定の処理をマルチスレッド化することで改善できると考えられる。

4.3 考察

実装では、一般物体検出および形状・姿勢推定に基づいた実物体への仮想エフェクトの重畳が実現できた。しかし、実物体の検出範囲内にある実物体以外のデプス情報が無視できないほど多い場合に、実物体の姿勢推定が難しくなってしまう問題がある。この改善策として、3次元点群に対する主成分分析による直線のフィッティングの際に、RANSAC (RANdom SAMple Consensus) などの外れ値の除去を行うことが考えられる。

5. おわりに

本研究では、実物体とのインタラクションを利用する新

たな AR ゲーム体験に向けた、仮想エフェクトの重畳による実物体の視覚的な拡張を提案した。実装では、RGB-D カメラを使用して、一般物体検出および形状・姿勢推定による実物体への仮想エフェクトの重畳を行った例を示した。また、HMD および RGB-D カメラを使用して、HMD ユーザ視点の実物体への仮想エフェクトの重畳を確認した。

今後は、実物体への仮想エフェクトの重畳を利用したタングブル AR ゲームの実現とその体験の楽しさの検証を行いたい。

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にご感謝いたします。

参考文献

- [1] Simeone, A. L., Velloso, E. and Gellersen, H.: Substitutional Reality: Using the Physical Environment to Design Virtual Reality Experiences, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, pp. 3307–3316 (2015).
- [2] Sra, M., Garrido-Jurado, S. and Maes, P.: Oasis: Procedurally Generated Social Virtual Spaces from 3D Scanned Real Spaces, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 24, No. 12, pp. 3174–3187 (2018).
- [3] Cheng, L. P., Ofek, E., Holz, C. and Wilson, A. D.: VRoamer: Generating On-The-Fly VR Experiences While Walking inside Large, Unknown Real-World Building Environments, *Proceedings of 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR 2019)*, pp. 359–366 (2019).
- [4] Kato, H., Billinghamurst, M., Poupyrev, I., Imamoto, K. and Tachibana, K.: Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment, *Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2000)*, pp. 111–119 (2000).
- [5] Lee, G. A., Nelles, C., Billinghamurst, M. and Kim, G. J.: Immersive Authoring of Tangible Augmented Reality Applications, *Proceedings of Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2004)*, pp. 172–181 (2004).
- [6] Günther, S., Müller, F., Schmitz, M., Riemann, J., Dezfali, N., Funk, M., Schön, D. and Mühlhäuser, M.: Check-Mate: Exploring a Tangible Augmented Reality Interface for Remote Interaction, *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '18)*, pp. 1–6 (2018).
- [7] 漆原航平, 高井昌彰, 飯田勝吉: インタラクティブな仮想水面波を可視化する AR コンテンツ, 情報科学技術フォーラム講演論文集 (FIT), Vol. 19, No. 3, pp. 225–226 (2020).
- [8] Lindlbauer, D., Müller, J. and Alexa, M.: Changing the Appearance of Real-World Objects By Modifying Their Surroundings, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*, pp. 3954–3965 (2017).