

没入型 VR 体験と現実世界を繋ぐエージェントロボット

小野寺 浩気^{1,a)} 鈴木 亮太¹ 小林 貴訓¹

概要: 近年, HMD の低価格化により屋外など他者と共有する空間において VR が活用されるようになってきた. しかし, HMD 装着者と非装着者ではインタラクションの場の共有が難しいため, 共有空間における VR 活用の妨げになる懸念がある. そこで本研究では, HMD 装着者と非装着者が互いにインタラクションを開始しやすくなるエージェントロボットによる仲介システムを提案する. 場を共有する周囲の人々の位置を広範囲に計測可能な 2D-LiDAR を用いて計測し, エージェントロボットが周囲の人物に対して VR 体験に参加しているような様子の暗黙的表示や挨拶レベルの応対といった間接的なインタラクションを提供する. また, 同じパーソナリティを持った VR エージェントアバターが外界の様子を HMD 装着者に抽象的に伝達する. HMD 非装着者が HMD 装着者に対し直接的に声かけをするタスクにおいて, 間接的な表現が話しかけに対する驚きや恐怖心を低減する可能性が見られた.

1. はじめに

近年, HMD (ヘッドマウントディスプレイ) の低価格化に伴い VR 体験の敷居が下がってきており, 特にエンターテインメント分野において盛んに活用されている. 自宅で遊ぶ VR ビデオゲームのような個人的な体験に留まるもののみならず, 屋外の観光地で HMD を装着して過去の街並みを体験する VR 街歩きといった, 他者と共有する空間において VR 体験を行うイベントも展開されてきている. しかし, 屋外で HMD を装着している様子は, 現実空間の傍観者から見ると異様なものに見える. これは, HMD 装着者の VR 体験の様子を現実空間にいる傍観者が見た時, VR と現実が完全に断絶しており, HMD 装着者が何をしているか理解できないからである. そのため, HMD 装着者と非装着者は互いに場の共有を行うことが難しく, 共有空間での VR 体験における安心感や信頼感を損ね, そのようなイベントの展開が妨げられる懸念がある.

この問題に対し, VR 体験の様子を外界に見せ, 共有するための取り組みが行われている. 亀井らは, HMD にプロジェクタを固定し, 壁面に HMD 装着者の映像を投影することで VR 体験を可視化し共有するシステムを提案している [1]. 石井らは, HMD 装着者を囲う半透明のスクリーンに VR 空間を投影することで, VR 空間を可視化し体験を共有するシステムを提案している [2]. Jan らは, 床に VR 空間の俯瞰視点映像を投影し, 非装着者が持つコントローラに接続されたモニタに 1 人称視点の映像を映すことに

より, 非装着者に装着者の VR 体験を共有し VR 体験に参加できる, “ShareVR” を提案している [3]. さらに, HMD の側面と正面にタッチ可能なディスプレイを取り付けることで HMD 非装着者と VR 空間を共有し, タッチやジェスチャーによって HMD 装着者とのインタラクションを可能にする “FaceDisplay” を提案している [4]. しかし, これらはある VR 体験に対して HMD 装着者ならびに非装着者の双方が明確にエンゲージする状況での共有を目的としており, 共有空間において没入型 VR 体験および外界の傍観者の活動がそれぞれ分離しつつも適切に場を共有するための検討は行われていない.

そこで本研究では, “緩い” インタラクション場の提供によって, 共有空間で HMD 装着者と HMD 非装着者が適切に場を共有し, また話しかけといった直接的インタラクションを行いやすくするための, エージェントロボットによる現実空間と仮想空間の仲介システムを提案する (図 1). エージェントロボットが互いの空間における活動を存

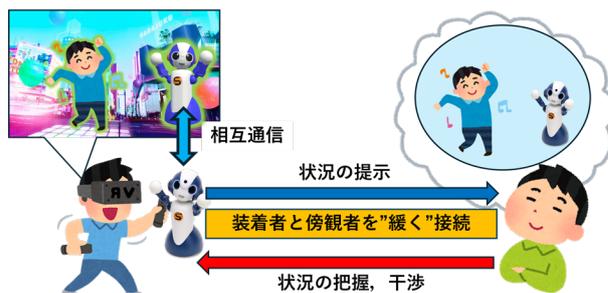


図 1 エージェントロボットによる VR と現実の間の場の仲介

¹ 埼玉大学

^{a)} onodera.h.339@ms.saitama-u.ac.jp

在感のレベルで緩く伝達することで、個々の活動の独立性を保ちつつも違和感を低減した場の共有を実現する。

2. 提案手法

本システムでは、同じ見た目、同じ声を有するロボットのパーソナリティを共有した現実空間上のエージェントロボットおよびVR空間上のエージェントアバターが、互いの体験ないし存在感を間接的に表現することで、完全に隔離された状況から、不安感や不信感が低減され互いに声かけと言ったインタラクションを開始しやすい状況にする“緩い”インタラクション場の共有が行えるようにする。

具体的には、VR体験中のプレイヤーの近くに傍観者が来ると、現実空間でのプレイヤーと傍観者の位置関係に合わせて、人を模したオブジェクトがVR空間上に出現する。また、プレイヤーの正面に配置されているエージェントアバターが出現したオブジェクトの方向を向くことで、プレイヤーに近くに人が来ていることを知らせる(図2)。これにより、プレイヤーはVR空間に没入しながら現実空間の人の状況を知ることができる。一方、現実空間上では、エージェントロボットが傍観者のいる方を向き言葉を発する。これにより、VR体験が外界に対してインタラクションの受け入れが可能である状態を示し、現実空間での異物感を軽減する。

本稿では、エージェントロボットとして卓上コミュニケーションロボットであるSota^{*1}(VStone Co.,Ltd.)を用いる。また、HMDにはVIVE Pro (HTC Corporation)を使用する。



図2 近くに傍観者が来た場合のシステム動作

2.1 VR空間の構築と現実空間との接続

VR空間とその体験は3Dアプリケーション開発プラットフォームであるUnity上で実装する。アプリケーション内ではエージェントアバターがプレイヤーの正面にるように配置する。このエージェントアバターは、現実空間上でのSotaを模した3Dモデルを新たに作成し、用いる。図3にエージェントアバターおよびロボットの外観を示す。Unityのプログラムは、本システムではモジュール間通信におけるサーバの役割を持ち、周囲環境を状況を計測する2D-LiDARの周辺人物の位置データをリアルタイムに受け取り、また現実世界のエージェントロボットへの行動指示を送出する。受け取った周辺人物の位置データから、現実空間上の傍観者のプレイヤーに対する相対的位置関係を計算し、VR空間上のおおよそ同様の相対的位置に傍観者のアイコンとなる抽象的オブジェクトを配置することで、傍観者の存在感を示す。また、傍観者が近づいてきたなどのイベント発生を検出し、現実のエージェントロボットに対して挨拶などの行動指示を行う。



(a) アバター (b) ロボット

図3 エージェントの外観

2.2 2D-LiDARによる広域人物検出

2D-LiDARは、照射したレーザ光の反射光を観測することで、水平面上の対象物の距離や対象物の形を270度の範囲、0.25度の角度分解能で広域かつ精密に計測することができるデバイスである。本稿ではUTM-30LX^{*2}(Hokuyo Automatic Co.,Ltd.)を用いる。

2D-LiDARにより計測された点群は、図4のように平面画像上にプロットすることができる。この点群の塊の形状から、周辺人物の位置、および周辺人物のおおよその行動を認識することが可能である。具体的には、予め計測しておいた点群を基に背景差分を行い、前景と背景を区別し、前景に表れたある程度の大きさを持った点群の塊を周辺人

*1 <https://www.vstone.co.jp/products/sota/>

*2 <https://www.hokuyo-aut.co.jp/search/single.php?serial=21>

物として検出する。さらに、カルマンフィルタにより追跡を行い、それぞれがプレイヤーであるか傍観者であるかを区別する。

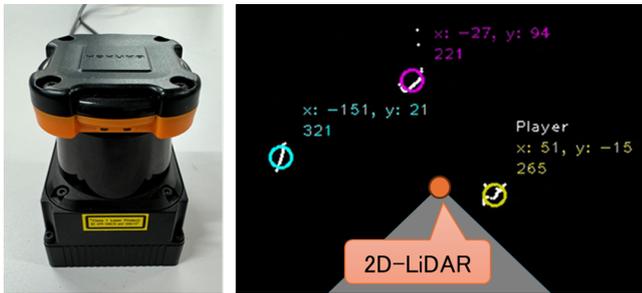


図 4 2D-LiDAR に基づく周囲人物追跡

2.3 エージェントロボットの機能

エージェントロボットは、VR 空間上のエージェントアバターと同様の姿と声を持ち、同じパーソナリティを持った個体として認識できるようにしてある。このエージェントロボットは、HMD 装着者の体験の様子に対して、あたかも自身も参加しているかのように振る舞うことで、VR 体験の様子を傍観者に間接的に“緩く”伝達する仲介媒体として機能させることを意図している。これにより、HMD 装着者が現実世界と場を共有した時の違和感を低減することができると思われる。

このエージェントロボットは、エージェントアバターと非対称的に動くことが可能であり、求められる機能に合わせて VR 体験との同期度を調整することができる。本稿では、エージェントロボットは VR 体験と同様の動きは行わず、傍観者が近づいてきたときに挨拶をするという仲介者としての機能のみ実行させ、仲介機能の効果について検証を行う。

3. 実験

VR 体験中の HMD 装着者の代わりに現実空間のロボットが傍観者にインタラクトすることで、傍観者の HMD 装着者に対する直接的なインタラクションに対してどの程度影響を与えるのか、条件 1: 仲介なし、条件 2: モニターによる視界表示、条件 3: エージェントロボットによる仲介(提案手法)の 3 つの条件で比較し評価した。

今回の実験のタスクである直接的なインタラクションにおいては、直接的な表現であるモニター条件が直接的なインタラクションのしやすさを高めやすいと考えられる。一方、本実験においては、提案システムによる間接的な応答の提供が、傍観者の直接的なインタラクションに対してどのような効果を示すかを検討する。

3.1 実験設定

実験は、埼玉大学の一室で行った。実験参加者は 2 人 1 組とし、3 つの各条件について HMD 装着者と HMD 非装着者に分けて実験を行った。終了後、役割を交替して更に各条件で行った。実験参加者は大学生、大学院生の 4 人 2 組である。

HMD 装着者には、VR 空間内で、屈むと手が届くボールをボールと同じ色の台まで運び、ボールの色が変わったらまた同じ色の台まで運ぶというタスクを実行してもらった。また、HMD 非装着者には、HMD 装着者が体験している途中で、HMD 装着者に近づき、自らが適切だと思ったタイミングで HMD 装着者に体験を中止してもらうよう声かけを行うタスクを実行してもらった。それに対して、HMD 装着者は状況に合わせて適切に反応し、適切なタイミングで HMD を外してもらった。図 5 に実験の様子を示す。

実験参加者は、3 つの条件で順に実験を行った。条件 1 は、何も情報を提示しない設定(仲介なし条件)である。条件 2 は、HMD 装着者の見ている映像をモニターに映している設定(モニター条件)である。条件 3 は、現実空間では、HMD 装着者の正面にロボットを配置し、ロボットが近くに人が来たときにその人の方を向き“こんにちは”と挨拶をするという設定(ロボット条件)である。ここで、3 つ目の設定のみ VR 空間内にエージェントアバターと人を模したオブジェクトが配置された。

各条件での実験の終了後、それぞれアンケートに回答していただいた。

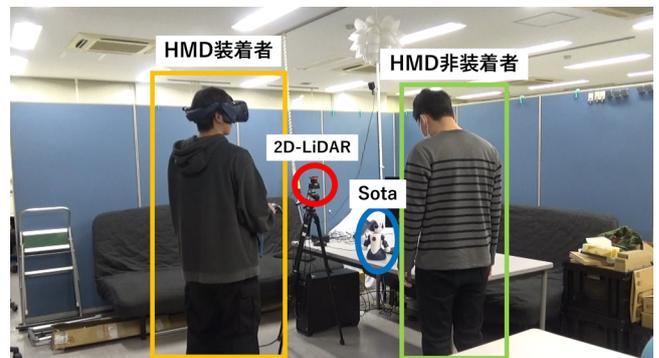


図 5 実験の様子

3.2 実験に用いた VR アプリケーション

本実験のために、VR 空間内で、ボールをボールと同じ色の台まで運ぶタスクを実行できる Unity アプリケーションを実装した。シーンは、草原のテクスチャを貼付した床、ランダムに配置される樹木、赤・緑・青のうちランダムに配色されるボール、同 3 色のそれぞれの台から構成される。シーンの様子を図 6 に示す。HMD 装着者は、ボールを同じ色の台まで運び、台と接触したボールはランダムに色を変えるため、それをまた別の台へと運ぶという VR

タスクを実行した。HMD 装着者は、頭の向きを変えることで視界の方向を変化させることができる。また、コントローラのタッチパッドを用いて前後左右への水平移動が行える。ここでの移動方向は視野方向に紐づいており、意図した方向への移動は視野を該当方向へ向けての前進移動により行える。更に、VR 空間内でボールとコントローラを接触させてトリガを引くことで、ボールを把持することができる。ボールはひざ丈の大きさであり、屈むことによって容易に把持できるようになる程度にサイズを設定している。この VR タスクにおいては、HMD 装着者は、身体位置を変えないまま、全身の回転や屈伸といった全身動作を伴ったインタラクションを行う必要があり、本アプリケーションは情報提示の無い場合は外界の傍観者は動作の予期が難しく、近寄りたがたい印象を受けるように意図して設計されている。

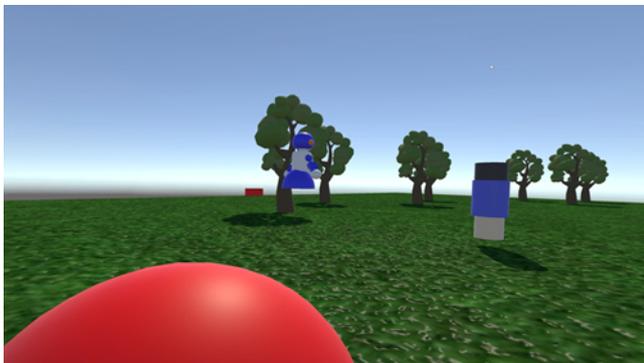


図 6 実験中の VR 空間 (条件 3)

3.3 実験手順

HMD 装着者には、以下の 6 つの設問について、7 段階のリッカート尺度 (1: 「全くそう思わない」、2: 「かなりそう思わない」、3: 「ややそう思わない」、4: 「どちらでもない」、5: 「ややそう思う」、6: 「かなりそう思う」、7: 「非常にそう思う」) によるアンケートを行い、自由記述にも任意で回答してもらった。

- 設問 1 落ち着いて VR 体験できましたか？
- 設問 2 集中して VR 体験できましたか？
- 設問 3 話しかけられた時に大きく驚きましたか？
- 設問 4 VR 体験を中断する時にストレスを感じましたか？
- 設問 5 VR 空間の外部から話しかけられて、恐怖を感じましたか？
- 設問 6 VR 体験の内容は難しかったですか？

また、HMD 非装着者にも以下の 5 つの設問について同様に回答してもらい、自由記述にも任意で回答してもらった。

- 設問 1 HMD 装着者に話しかけやすいと感じましたか？

- 設問 2 HMD 装着者とコミュニケーションをとれると思いましたか？

- 設問 3 HMD 装着者に話かけることに気が引けましたか？

- 設問 4 適切なタイミングで声をかけられたと思いますか？

- 設問 5 HMD 装着者が何をしているか理解できましたか？

3.4 実験結果

実験参加者のアンケートに対して、設問毎に平均を求めたものを図 7,8 に示す。HMD 装着者のアンケート結果によると、設問 3,5 よりロボットを用いることで傍観者から話しかけられたときの驚きや恐怖を低減する効果が得られた。しかし、VR 体験を中断する時のストレス低減に効果的であるという評価は得られなかった。

また、HMD 非装着者のアンケート結果によると、設問 1,2,3 はロボット条件はモニター条件に比べ下回っているが、大きな差はでなかった。また、設問 4 より、一切の情報提示が無い場合よりは話しかけやすいが、モニター条件に比べて話しかけにくいという結果が得られた。さらに、設問 5 より、VR 空間で何をしているかの理解のしやすさはモニター条件がロボット条件を上回ったという結果が得られた。

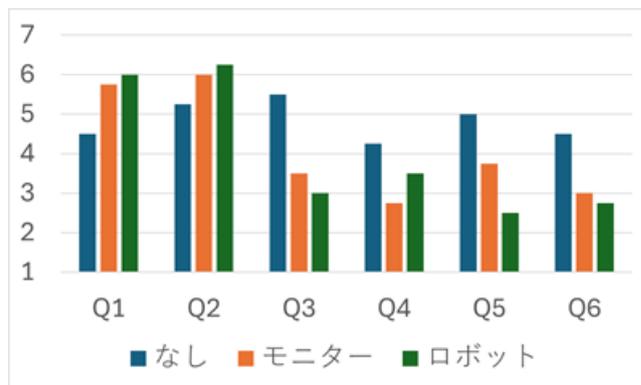


図 7 アンケート結果 (HMD 装着者)

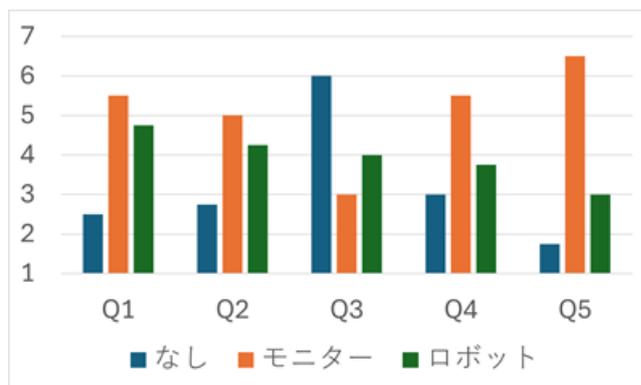


図 8 アンケート結果 (HMD 非装着者)

4. 考察

HMD 非装着者は HMD 装着者に対し、何も表示が無い場合よりも話しかけが行いやすいという結果が得られた。また、HMD 装着者においては、提案システムではエージェントアバターが近づいてきた傍観者のアイコンの方を向くという情報提示があったため、事前の心構えができ、HMD 非装着者から HMD 装着者に対しての声かけに対する驚き、恐怖を大きく低減することができた。

提案システムでは各エージェントは直接的な応対をせず、挨拶をするといった間接的な応対に留められていたため、明確に状況が理解できるモニター条件の方が比較的話しかけが行いやすいことが想定され、結果もそのようになった。一方で、曖昧な状況表現や間接的な応対が、直接的な応対を迫られるタスクにおいてもインタラクションの取りやすさに対して一定の効果を示すことができた。

5. まとめと今後の展望

本稿では、適切に場を共有し、話しかけといったインタラクションの開始しやすくするためにエージェントロボットによる 2 空間の仲介システムを提案した。本システムの有効性を検証する実験を行った結果、提案システムにおける現実空間から仮想空間への状況提示により、直接的なインタラクションの始めやすさに一定の効果を示すことができた。

今後は、現実空間へ仮想空間内の状況を定期的に提示することで相互インタラクションが容易にできるようになるシステムの開発をめざしていきたい。

参考文献

- [1] 亀井郁夫, 韓 燦教, 平木剛史, 福嶋政期, 苗村 健: HMD 視点映像のプロジェクタ投影による VR 体験の共有, VR 大会 2020, pp. 2B1-4, OVE:A11-(3) (2020).
- [2] 石井 晃, 鶴田真也, 鈴木一平, 中前秀太, 鈴木淳一, 落合陽一: Let Your World Open: CAVE-based Visualization Methods of Public Virtual Reality towards a Shareable VR Experience, *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019*, AH2019, Association for Computing Machinery (2019).
- [3] Gugenheimer, J., Stemasov, E., Frommel, J. and Rukzio, E.: ShareVR: Enabling Co-Located Experiences for Virtual Reality between HMD and Non-HMD Users, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 4021-4033 (2017).
- [4] Gugenheimer, J., Stemasov, E., Sareen, H. and Rukzio, E.: FaceDisplay: Towards Asymmetric Multi-User Interaction for Nomadic Virtual Reality, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1-13 (online), DOI: 10.1145/3173574.3173628 (2018).