

HMD と複数のスマートフォンを用いた MR 体験共有システム

2110276 小林雄志 成見研究室

1 はじめに

近年, HMD (Head Mounted Display) の MR 技術が急速に発展している. MR 技術とは VR と AR の技術的要素を組み合わせたものであると言われており, 現実空間に仮想のオブジェクトが存在するように見せることで, VR や AR では得られないインタラクティブ性を提供する. Meta Quest 3 や Apple Vision Pro の登場により, 注目が高まり, 様々な分野への応用が進んでいる.

しかし, 現状の MR アプリケーションは主に HMD を装着した 1 人だけでの利用を想定されており, 周りに人がいる状況をでの使用を想定したアプリは少ない. そのため, MR 体験が個人で完結してしまい, 他者との体験の共有が難しいという課題がある.

2 研究の目的

本研究の目的は, HMD の MR 体験にスマートフォンからも参加できるシステムを作成することと, 多くの機種で, より快適な動作ができるように改良を行うことである. これにより, HMD ユーザーと周囲の人々が違和感なく同じ仮想コンテンツを体験・共有できるようにする. HMD ユーザーと周囲の人がコミュニケーションを取ったり, 協調作業を行うことができる.

3 関連研究

Chi-Jung Lee らは, スマートフォンをコントローラーとして使用する HMD 用 MR システムである Dual-MR を開発した [1]. Dual-MR では, HMD (HoloLens) とスマートフォン (iPhone) 間で座標を同期することによって, HMD 上で動作する MR アプリにおいてスマートフォンをコントローラーとして使用することを可能にしている.

また, 本研究と似たシステムを採用している例として, VR とスマートフォンで協力する 2 人用ゲームである Covert[2] や, HMD での複数人用 MR ゲームである Saber City[3] などが挙げられる. Covert は MR でない点, Saber City は HMD 専用である点で本研究と異なる.

4 システム概要

システムの概要を図 1 に示す. 本システムは 1 台の HMD および複数台のスマートフォンからなる. HMD 専用のアプリとスマートフォン専用のアプリ上で, それぞれの機器に合わせた処理を行う. また, デバイス同士の通信

には Photon Fusion というサービスを用いている. HMD ユーザーの処理結果をスマートフォンが受け取り, 自身の位置に合わせて画面に表示することで, 現実空間の同じ場所に同じ状態の仮想の物体が見えるようになっている. 実際の動作を, 図 2, 図 3 に示す.

HMD とスマートフォンは独自の座標系を持っており, それらの位置を合わせるために AR マーカーを用いている. 図 4 のように HMD 側で AR マーカーの位置を手動で設定し, AR マーカーからの相対座標を同期することで, どちらのデバイスでも現実空間の同じ位置に仮想オブジェクトが見えるようにしている.

HMD ユーザーはハンドトラッキングによって, 仮想オブジェクトを触ったり掴んだりすることが可能である. また, ハンドジェスチャーによって特定のコマンドを入力することもできる. スマートフォンユーザーは, 大学生/大学院生 8 名に行った被験者実験で好評だった, カメラを基準としたスティック操作によって, 仮想のキャラクターを操作する.

オブジェクト状態の同期は, Photon Fusion を用いて行う. Photon Fusion でよく使われる通信方法として, 共有モードとホストモードがある. 共有モードはマルチプレイ対応の HMD 用アプリによく使われ, 各オブジェクトについて権限を持ったデバイスの状態で上書きすることで同期を行うものである. ホストモードはクライアントの 1 人がホストになり, 処理は全てホストに合わせるといものである. 本研究では, この 2 つの通信方法でそれぞれ実装を行った.

また, 本研究では HMD をホストとした通信を行うだけでなく, HMD をホストとして固定することで, スマートフォンから物理情報を取り除くなど, さらなる改善を行った軽量版を実装した.

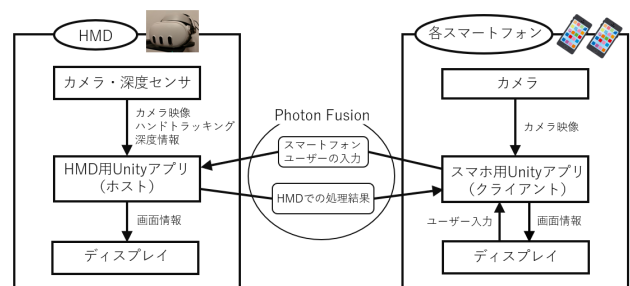


図 1 システム概略図

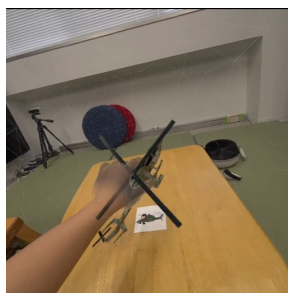


図2 HMD ユーザーの視点

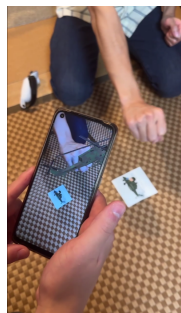


図3 スマホユーザーの視点

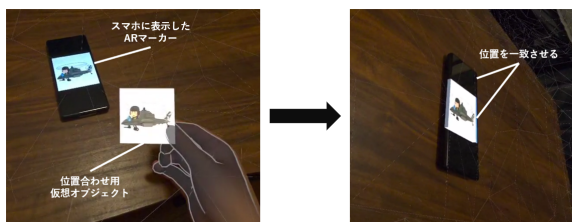


図4 AR マーカーの初期設定

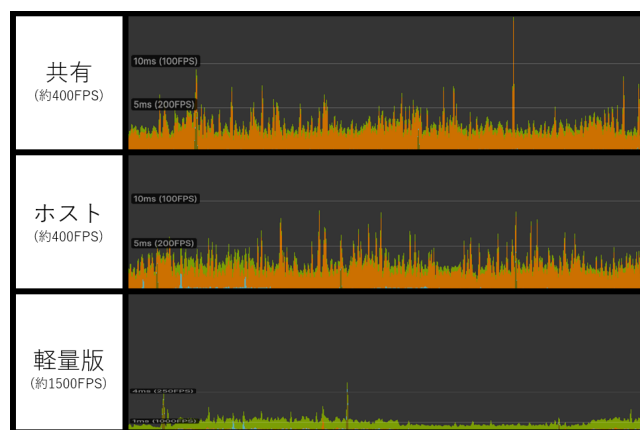


図5 各実装でのスマートフォンでの負荷

表1 入力遅延の平均
(スはスマホ, H は HMD を表す)

実装方法	ス → H[ms]	H → ス [ms]	ス → ス [ms]
共有	127	139	
ホスト	89	48	90
軽量版	93	52	102

5 評価

それぞれの実装方法を評価するために、処理負荷、入力遅延について実験を行った。各測定には Google Pixel 6a と Meta Quest 3 を用いている。

処理負荷の計測はスマートフォンと HMD を接続したパソコンで、Unity の Profiler を確認することで行った。わかりやすくするために AR 関連の機能のコールは省いている。スマートフォンの結果は、図 5 のようになった。オレンジは Physics (物理演算) の負荷、緑は Rendering (レンダリングに関連する処理) の負荷である。フレームレートが約 400fps から約 1500fps に向上していることから、本システムでは物理演算の処理を行わないことで、処理が軽くなっていることが分かる。また、HMD(Quest 3)でも負荷計測をおこなったが、それぞれの間でほとんど差は見られなかった。

入力遅延の計測は、シーン内のオブジェクトに移動機能を持たせ、片方のデバイスで入力を行い、もう片方のデバイスで移動が反映されるまでの時間を記録することで遅延の計測を行った。そのため、今回測定した遅延とはデータの往復速度のことではなく、ユーザーが体感する入力とキャラクターの反応のずれのことである。結果は表 1 のようになった。HMD での通信で一般的に用いられる共有モードに比べ、ホストモードと軽量版は入力遅延が少ないことが分かった。

門脇ら [4] と戸巻ら [5] の研究によると、VR が違和感を感じる入力遅延は 24.3ms から 44.3ms で、スマートフォンで違和感を感じる入力遅延は約 107ms である。また、

ホストモードおよび軽量版では、物理演算処理が HMD で完結しているため、HMD での入力遅延は十分小さい。表 1 とこれらのことを踏まえると、一般的に用いられる共有モードではなく本システムや通常のホストモードで通信を行うことで、スマートフォンユーザーが入力遅延に違和感を覚えない範囲のまま、HMD ユーザーの入力遅延による違和感を大幅に減らすことができるといえる。

以上のことから、改善を行った軽量版は、スマートフォンの処理負荷の低減、および HMD ユーザーの違和感の軽減に有効であると考えられる。

6 おわりに

今後の課題として、複数 HMD ユーザーへの対応、AR マーカーを用いない実装、補間方法の改善が挙げられる。

参考文献

- [1] Chi-Jung Lee and Hung-Kuo Chu. Dual-MR: interaction with mixed reality using smart phones. In Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '18). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 79, 1-2. 2018.
- [2] White Elk, "The Covert Game - Covert", <https://thecovertgame.com/> (参照 2025-1-15)
- [3] Yarwad Mixed Reality, "Saber City", <https://www.yarwad.com/sabercity> (参照 2025-1-15)
- [4] 門脇拓也, 丸山三智佳, 早川智彦, 松澤直熙, 岩崎健一郎, 石川正俊. 身体感覚と視覚情報にずれが生じる没入環境における映像遅延のユーザーパフォーマンスへの影響に関する研究. 第 23 回日本バーチャリアリティ学会大会論文集. 2018.
- [5] 戸巻見大, 遠藤雅伸. デジタルゲームの操作におけるラグの不快感に関する研究, 映像表現・芸術科学フォーラム 2020 予稿集 45. 2020.