



リアルワールドメタバースにおける 実空間ユーザの頭部位置姿勢反映手法の検討

Exploration of Methods for Reflecting Head Position and Orientation of Real-World Users in a Real-World Metaverse

尹淙熙¹⁾, 中村文彦¹⁾, 木村朝子¹⁾, 柴田史久¹⁾

Jonghee YUN, Fumihiko NAKAMURA, Asako KIMURA, and Fumihisa SHIBATA

1) 立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, jonghee@rm2c.ise.ritsumei.ac.jp)

概要: 我々は、本学キャンパスを対象に現実世界とメタバースを融合するリアルワールドメタバースを実現する MR キャンパスを構想している。MR キャンパスでは実空間と VR 空間にユーザが混在することを想定しており、両空間の間でユーザの位置・姿勢を共有する仕組みの実現が不可欠である。その端緒として、本稿では、MR キャンパスにおける実空間ユーザの頭部位置姿勢を VR 空間に反映する手法を検討した結果を報告する。具体的には、マーカと空間アンカによる位置合わせを行うシステムを試作し、実空間ユーザの頭部位置姿勢を実時間で MR キャンパスに反映可能であることを確認した。

キーワード: 拡張・複合現実, メタバース, 頭部位置姿勢

1. はじめに

近年、数多くの企業がメタバース (Metaverse) [1] 関連のコンテンツを提供し、多くの人々がこれらのコンテンツを活用し、非対面で様々な活動を行っている。従来のメタバースの多くは、コンピュータやスマートフォン、ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) などを介して、ユーザが人工的に作成された VR (Virtual Reality; VR) 空間に入り込み、様々な体験をするものが主流であった。しかし、近年では AR (Augmented Reality; AR) /MR (Mixed reality; MR) 技術と組み合わせた「リアルワールドメタバース (Real-World Metaverse)」という新たな概念が登場してきた。

リアルワールドメタバースとは Niantic 社が提唱した概念で、リアルワールドという言葉通り現実の体験をより豊かにするメタバースを構想しようという考え方である [2]。これは、現実世界のデジタルツイン (Digital Twin) [3] を作成し、それに基づいて仮想的な環境や体験を構築することによって、現実世界の物理的な要素とデジタルな情報が密接に結びついた空間を提供する考えと捉えることができる。

我々の研究グループでは、多くの人が往来し、様々な活動が行われる大学のキャンパスを舞台として、リアルワールドメタバースを実現する「MR キャンパス (Mixed Reality Campus)」を構想している (図 1)。この MR キ

キャンパス構想において目指しているのは、現実のキャンパスと同等の仮想キャンパスを VR 空間内にデジタルツインとして構築し、実空間のユーザからは VR 空間にアクセスしているユーザのアバタが表示され、VR 空間のユーザからは実空間に存在するユーザがアバタとして視認できるような現実と仮想が融合した空間である。両空間に存在するユーザは、各々のアクセス場所と使用デバイスに応じて相互にコミュニケーションをとることが可能となる。

このような MR キャンパスの実現には様々な課題が存

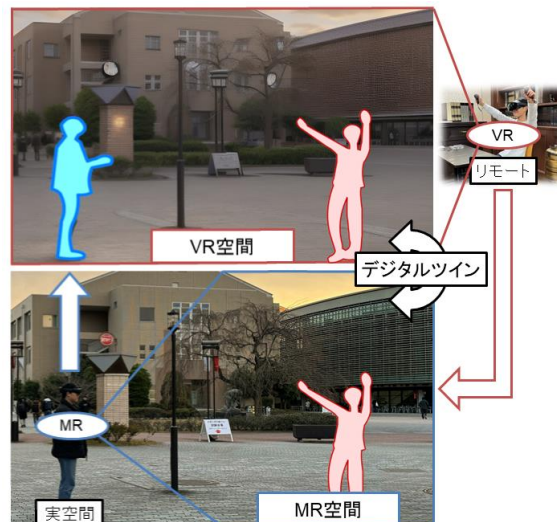


図 1: MR キャンパス構想図

在する。とりわけ、実空間と VR 空間との位置合わせは最優先の課題である。両空間の間で正確な位置合わせができない場合、VR 空間でのアクションやコミュニケーションが現実の動きや位置と一致しなくなり、ユーザが違和感を覚えるたり、快適な体験が妨げられる可能性があるためである。具体的には、実空間において物理的にはあるオブジェクトの隣にいるにも関わらず、VR 空間では離れて見えるといった状況が生じることがある。

実空間と VR 空間の位置合わせが難しい理由として、多くのデバイスが開始時点の位置姿勢を基準に原点を設定していることが挙げられる。これにより、ユーザが HMD やスマートフォンなどのデバイスで MR キャンパスにアクセスした時点が原点となり、それに基づいて位置が確定する。その結果、MR キャンパスに参加する実空間ユーザごとに、表示されるアバタや仮想オブジェクトの位置が異なってしまう。

本研究では、実空間と VR 空間が共有する世界座標系の原点を予め決めておき、MR キャンパスにアクセスした際に各デバイスの座標系を世界座標系にあわせる手順を踏むことでこの問題に対処する。これにより、初期位置姿勢の異なる場所のユーザ同士でも原点が統一され、位置姿勢の一貫性が保たれる。本稿では、前述の方針に沿ってシステムを試作し、MR キャンパスにおける所望の機能が実現できるかを検討した結果について報告する。

2. 世界座標系の整合方法

2.1 概要

リアルワールドメタバースの一種である MR キャンパスの実現にあたって、実空間のユーザの位置姿勢を如何にして VR 空間に反映するかは重要な課題である。本研究では、柔軟でユーザフレンドリー (User-friendly) な手順を実現するため、以下に示す要求仕様を定義した。

- (1) ユーザは任意の場所で MR キャンパスに接続可能
- (2) ユーザは実空間で自由に移動可能
- (3) 複数のユーザが VR 空間に参加可能

要求仕様(1)に関しては、MR キャンパスの利便性を優先して考えると、実空間に存在するユーザによる MR キャンパスへのアクセスは、例えば建物の入口など、どこか特定の一地点に限定されているより、任意の場所からのアクセスが許容されているほうが望ましい。要求仕様(2)については、ひとたびユーザが MR キャンパスにアクセスした後は、実空間と VR 空間の間の一貫性を保つことが求められる。これはすなわち、当該ユーザの実空間での動きが VR 空間に正確に同期される必要があることを意味する。また、要求仕様(3)は、リアルワールドメタバースの意義に関わる部分であり、多数のユーザが VR 空間に同時にアクセスし、相互にコミュニケーションや共同作業が可能な環境を提供することが重要である。これを実現するためには、複数のユーザが参加できるような VR 空間の設計が必要となる。

これらの要求仕様を満たすことにより、リモートのユーザと実空間のユーザ間の相互作用が促進され、よりリアルで豊かな体験が生み出されることが期待される。

2.2 試作システムの設計

リアルタイムで実空間ユーザの位置姿勢を VR 空間に反映でき、さらに複数ユーザが使用可能なものシステムを試作すべく、以下の 3 点を考慮してシステムを設計した。

- (1) 実空間と VR 空間との初期位置合わせ
- (2) リアルタイムでユーザの位置姿勢をアバタに同期
- (3) 複数のアバタを VR 空間に表示

初期位置合わせでは、ユーザがネットワークに接続されたキャンパス内のどこからでも MR キャンパスにアクセスできるように共通の原点を設定する。多くのデバイスは開始時点の原点として処理するため、このシステムでは、実空間と VR 空間が共有する世界座標系の原点をキャンパスの特定の場所に設定し、初期位置合わせを行う。これにより、異なる時点でユーザが使用しても位置姿勢の一貫性が保たれ、位置姿勢ずれを防ぐことができると考えた。

試作システムの初期位置合わせには、実空間と VR 空間の世界座標系の原点として空間アンカ[4]の仕組みを利用することとした。そのため、その位置決め精度が極めて重要である。しかし、AR ナビゲーションシステムの研究では、日常生活であまり AR デバイスを使わないため、アンカ配置操作を難しいと答えた人が多かった[5]。そこで、MR キャンパスでは事前に現実空間にマーカ配置し、ユーザが手動でアンカを配置しなくても、マーカが視野に入るだけでアンカを自動的に配置でき、世界座標系の原点として機能するような設計とする。

マーカの位置と姿勢を認識する精度は、カメラとの距離と角度によって変わる[6]。ユーザ各々が別々にマーカを読み取って空間アンカを配置すると、マーカ認識時のカメラの距離や角度の差によって、それぞれのユーザで世界座標系の原点のずれが発生する可能性がある。この問題を解決するために、試作システムではホストとなるユーザが最初に空間アンカを設定し、その情報を他のユーザが再利用できるように仕組みを導入する。

次に、動きの同期に関しては、HMD のヘッドトラッキング技術を用いてユーザの位置姿勢をリアルタイムで VR 空間のアバタに同期させることとした。市販されている HMD のいくつかには、慣性トラッキングやビジュアルトラッキング技術を使用して、6-DoF (6 Degrees of Freedom) を取得できるものがある。この機能を利用して、ユーザが実空間を自由に歩き回る際に、その位置姿勢が VR 空間のアバタに反映できるようにする。

最後に、複数アバタの表示では、実空間ユーザのアバタとリモートユーザのアバタなど複数のアバタを VR 空間に表示するために、アバタの位置姿勢を管理するサーバを導入することとした。サーバに複数の HMD から位置姿勢を含む座標の情報を送信し、それによって VR 空間に複数のアバタを表示する。

2.3 試作システムの実装

試作システムは、Unity Technologies 社の Unity を用いて開発した。ユーザが使用する HMD は Microsoft 社の HoloLens2 を用いた。

初期位置合わせには、物理的な環境の特徴点を捉え、それをクラウド上のデータベースと照合することで、実空間と VR 空間との間の正確な位置合わせをすることができる Azure Spatial Anchors とマーカを読み取るパッケージである Nuget を使って行った。

動きの同期には、HoloLens2 の自己位置推定機能を活用した。Unity 環境で Mixed Reality Toolkit を使用し、HMD の位置姿勢の座標情報を取得した。これを基に VR 空間内でユーザの顔アバタを表示し、リアルタイムで動きを同期させた。

さらに、複数アバタの表示には Photon Engine の PUN2 を使用した。PUN2 はリアルタイム通信と低遅延での効率的なデータ伝送により、ユーザ間のコミュニケーションの効率と没入感を向上させる重要な役割を果たすことができる。これにより、複数の実空間にいるユーザとリモートユーザの動きがリアルタイムにアバタに同期できた。

3. 動作確認

3.1 目的

本研究で試作した位置合わせの仕組みが今後 MR キャンパスで使用可能かを、目標となる位置ずれと遅延時間を決めて確認した。目標位置ずれと遅延時間として、以下の2つを設定した。

目標位置ずれ：15.6cm 未満が望ましい

目標遅延時間：250ms を超過すべきでない

試作システムでは、ユーザの頭部位置姿勢に注目して実空間のユーザの座標系を取得し、VR 空間に顔アバタを表示した。使用した顔アバタは人工知能研究センターの頭部寸法のデータを参考にし、頭幅 15.6cm、頭長 18.4cm、全頭高 22.4cm として制作した[7]。VR 空間上で位置ずれが大きくなると、顔アバタ同士が重なる可能性があるため、位置ずれを最小限に抑えることを目的として、目標位置ずれは頭部の最も短い寸法である 15.6cm 未満で設定した。

また、本システムによる目標遅延時間は、250ms 未満と決めた。これは一般的に遅延時間が 250ms 未満の時に円滑なコミュニケーションが取れるためである[8]。

3.2 セットアップ

動作確認は、図 2 に示すような実空間で実施した。本システムによる位置合わせの精度を確認するために、実空間を模倣した VR 空間を制作した(図 3)。VR 空間には、PC や本など容易に移動ができる物体は配置せず、机、収納棚、仕切り板など固定物体のみを配置した。

動作確認では、まずホストとなるユーザがマーカを認識し、空間アンカを生成した。その後、周りの情報とアンカ情報をクラウドに送り、他のユーザもそれを使い位置合わせがすることで動作確認を行った。この動作を 10 回繰

り返し、それぞれの位置ずれと遅延時間について調べた。

3.3 結果

我々が目標とする MR キャンパスでは、実空間にはアバタのみを表示し、VR 空間の物体は表示することはないが、本研究では位置合わせの効果を視覚的に比較するためにこれらを重畳描画した(図 4)。

実空間と VR 空間に正しく共有原点が動作しているかを確認するために、位置合わせを行ってから共有原点からユーザまでの平均距離の差を比較し、位置ずれを確認した。実空間においてユーザが共有原点のマーカから 100cm、200cm、400cm、600cm 離れた位置に立った時、VR 空間での共有原点からそのユーザの顔アバタまでの距離を測定した。VR 空間の位置姿勢は PC 環境の Unity で確認し、Unity 座標系で測定した。これを 10 回繰り返し、それぞれの平均距離の差を計った。同じく、複数ユーザ間でも正しく動作しているかを確認するために、ユーザ間の平均距離の差を比較して位置ずれも確認した。

また、リアルタイムで実空間と VR 空間を同期できるかを確認するために、実空間と VR 空間で位置合わせによる

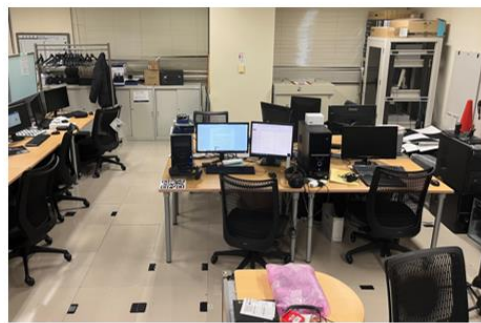


図 2: 実空間の様子

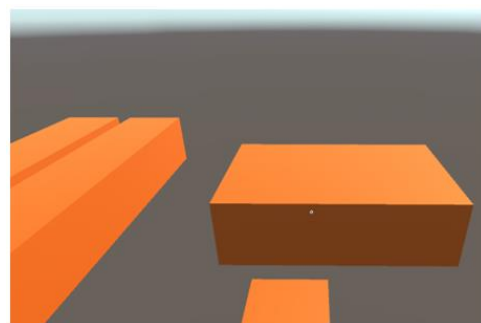


図 3: VR 空間の様子

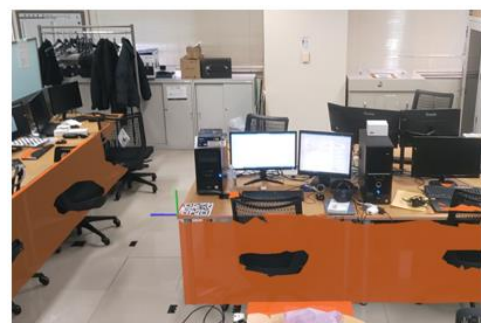


図 4: 位置合わせした結果

遅延時間と、人数による遅延時間を計測した。10秒間隔で計20回の遅延時間を測定し、ここから平均遅延時間を算出した。

その結果、共有原点からユーザまでの平均距離の位置ずれは最大13cmとなり、目標位置ずれの15.6cmを下回った(図5)。しかし、複数ユーザ間の平均距離の差は16cmとなったケースがあり、目標位置ずれの15.6cmを上回った。これは、実空間で複数ユーザが参加した際に、VR空間でアバター同士が重なる可能性があることを示す。

また、実空間での遅延時間はユーザが1人でも2人でも関係なく、目標遅延時間の250msを下回った(図6)。また、VR空間での遅延時間もユーザの人数と位置合わせに関係なく、目標遅延時間より小さいことが分かった。

3.4 考察

本研究では、MRキャンパスにおける位置合わせの仕組みを試作し、その実用性を検討した。結果、複数ユーザ間の平均距離の差が、目標位置ずれより大きくなるケースが存在した。これは、動作確認する際のユーザの微小な動きに起因した可能性がある。動作確認では、実空間の特定の位置にユーザを立たせ、その後VR空間での座標系でその位置を確認し、差異を算出した。しかし、動作確認中にユーザが頭部を完全に固定することは難しく、実際の位置と決めた位置との間に微小な位置ずれが生じた可能性があり、それが動作確認結果に影響を及ぼしたと考えられる。

本システムの遅延時間は、どの空間でも目標遅延時間より小さかった。しかし、これは2台のHololens2を用いたものであり、実空間ユーザが3人以上では測定していない。実空間ユーザが1人から2人になった時、遅延時間が大きくなったため、人数がより増えると、さらに遅延時間が長くなる可能性が考えられる。そのため、複数人での利用を想定した場合は、位置姿勢情報を共有する範囲をユーザの位置によって制御するなどの工夫が必要である。

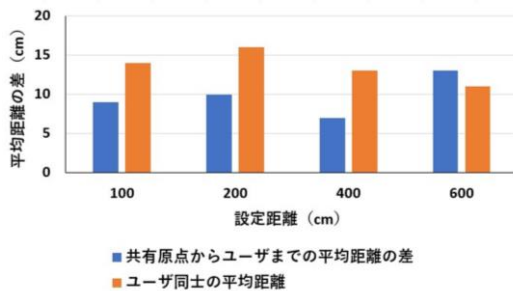


図5: 平均距離の差

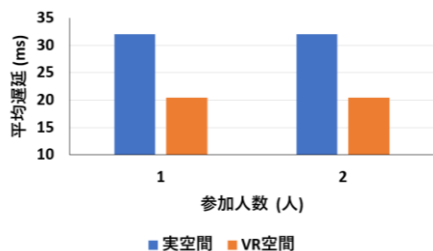


図6: 実空間とVR空間での平均遅延時間

4. むすび

本論文では、リアルワールドメタバースの実現に向け、実空間ユーザの頭部位置姿勢をVR空間に反映する手法について検討した。試作した位置合わせの仕組みは、空間アンカとマーカを用いて初期位置合わせを行い、HMDのセンサーで動的な動きを反映し、複数ユーザが同時に使用できるものである。特に、様々な人が接続するMRキャンパスの環境上、ユーザの操作に依存せず、マーカが視野に入るだけでアンカが自動的に配置されるように考慮した。また、アンカ情報はホストユーザが設定し、他のユーザが再利用することで位置姿勢の一貫性と正確性を保つようにした。動作確認では、複数ユーザ参加時に最大16cmのずれが生じることもあったが、他は目標位置ずれより下回った。また、遅延時間も全ての条件で目標値250msを下回る結果が得られた。

しかしながら、本研究では最大2人までのユーザが参加する環境でしか動作確認を行うことができず、遅延時間も人数により増加する傾向があった。これは、より多くのユーザの利用により、アバターの位置ずれや遅延時間が上がる可能性を示している。

今後の研究では、MRキャンパスでの多人数の利用における位置ずれと遅延時間の検証が必要だと考えられる。また、本研究では、実空間におけるユーザの動きがVR空間にどのように反映されるかに着目したが、リモートユーザを含むより包括的なシステムの開発とその有効性についても検討が必要だと考えられる。

謝辞

この成果の一部は、JSPS 科研費 (JP23K21690) の助成、および国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業 (JPNP22006) の結果得られたものです。

参考文献

- [1] 白井 暁彦: 文化・技術・研究史で読み解く令和のメタバースの研究開発, 電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン, 16巻, 4号, p.285-294, 2023
- [2] バーチャル美少女ねむ: メタバース進化論, 技術評論社, 2022
- [3] Zhihan Lv, Wen-Long Shang, Mohsen Guizani: Impact of Digital Twins and Metaverse on Cities: History, Current Situation, and Application Perspectives, Applied Sciences, 12(24), 12820, 2022
- [4] Microsoft: Spatial anchors, <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/design/spatial-anchors> (2024年1月2日)
- [5] 高島祐輔, 橋口哲志: 現実・仮想空間の双方を用いたナビゲーションシステムの提案, 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1F1-3, 2022
- [6] Microsoft: QR code tracking overview, <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/advanced-concepts/qr-code-tracking-overview> (2023年12月28日)
- [7] 河内まき子, 持丸正明: 日本人頭部寸法データベース 2001, 産業技術総合研究所 H16PRO-212, 2008
- [8] Faisal Zaman, Craig Anslow, Andrew Chalmers, Taehyun Rhee: MRMAC: Mixed Reality Multi-user Asymmetric Collaboration, International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 591-600, 2023