

HMD と QR コードを活用した文化財展示向けの AR システム an AR System for Cultural Heritage Exhibition using HMD and QR code

閻 永祥[†]
Yongxiang Yan

赤嶺 有平[†]
Yuhei Akamine

1. はじめに

コンピュータ技術が高度に発展した現代において、多くの博物館が文化財の展示に電子表示装置を広く活用している。その代表的なものとして、一般的なディスプレイやプロジェクタが挙げられる。前者は、各文化財の近傍に設置され、来館者が対話的に関連情報を取得するために用いられる。後者は、テーマに関連する記録映像などを集中的に上映するために多用される。また、一部の博物館では、中核となる文化財を展示するために裸眼 3D 技術が採用されているが、この技術は通常、鑑賞時の視点に特定の制約が伴う。

一方で、近年ではバーチャルリアリティ (VR) 技術も急速な発展を遂げている。高い没入感を提供する携帯型デバイスであるヘッドマウントディスプレイ (HMD) は、従来、家庭用ゲーム機としての役割を担うか、あるいはバーチャル展示室に応用されることが多かった。しかし、近年の技術進化により、HMD は内蔵カメラを通じて外部の現実世界を視認できるようになった。視野角 (FOV) と立体視が可能のため、拡張現実 (AR) の領域において、現実空間と仮想情報の間のより優れた連続性を実現できる。

これと並行して、QR コードはスマートフォンで広く利用されており、多くの博物館でも文化財の展示に応用されている。しかし、スマートフォンでウェブページを介した展示方法は、来館者の意識を博物館が創り出す文化的な雰囲気から逸脱させやすく、その結果、博物館と来館者の間に生まれる感情的な繋がりを阻害する可能性がある。

以上の背景を踏まえ、本稿では HMD と QR コードを基盤とした AR 展示システムを提案する。これにより、来館者の体験を向上させると同時に、AR システムの導入難易度を低減することを目指す。

2. 関連研究

Tan ら^[1] (2019) は、博物館の来館者数が減少している課題に対応するため、スマートフォンを基盤とした AR アプリケーションを開発した。このアプリは、インタラクティブなゲームや娯楽性を通じて来館者の体験を向上させることを目的としている。しかし、提案された AR システムは娯楽性に重点を置いており、文化財の価値伝達という側面がある程度軽視されている点が指摘できる。

Soares Guedes ら^[2] (2020) は、AR とスマートフォンを組み合わせたアプリケーション「AIMuseum」を開発した。このシステムは、低視力者や読字困難な利用者に対して音声解説を提供することで、特定のニーズを持つ人々の博物館における学習体験を向上させた。一方で、手持ち型デバイスによる AR 体験は利用者の腕の疲労を増加させやすいという課題がある。

Kyriakou & Hermon^[3] (2019) は、文化財の 3D モデルを手で操作する AR システムを開発し、文化財が脆弱であるために直接触れることができないという問題を回避した。こ

の AR システムは、スマートフォンと Leap Motion を組み合わせ、Google Cardboard を用いて頭部に装着する構成となっている。しかし、手の追跡データを処理するために、サーバーとして独立したコンピュータを必要とするため、スタンドアロンのモバイルデバイスとしての携帯性には制約があった。

Hou^[4] (2019) は、Microsoft HoloLens を基盤とする AR 博物館アプリケーションを開発した。このアプリは、視線選択、ジェスチャーコントロール、音声コマンドといった多様なインタラクション方式により、従来の文化財鑑賞の形態を改善した。しかし、提案システムはユーザビリティの面で課題を抱えており、利用者は、AR システムで文化財を認識してコンテンツを表示させる前に、まず特定の Android スキャナを用いて文化財の特徴データを抽出する必要があった。

Hammady ら^[5] (2021) は、エジプト博物館向けに「MuseumEye」と名付けられた複合現実 (MR) ガイドシステムを開発した。このシステムは、仮想ガイドを導入して従来の人間ガイド役を担わせるものであり、ユーザーの利用意欲を向上させる鍵となることを証明した。この AR システムは、音楽、画像、3D モデル、アバターとその音声など、豊富な AR コンテンツを含む約 30 分以上の完結したストーリーラインを持つ。その一方で、対象となる博物館への依存性が高く、個々の文化財間の結合性を分離することが困難であるため、システムの柔軟性が低下する可能性が懸念される。

これらを踏まえ、本稿で提案する AR システムは、一体型 HMD の携帯性と QR コードの利便性を活用し、利用者の負担を軽減し、システムの実用性を向上させることを目的とする。

3. 提案するシステム

本稿で提案する AR システムは、Meta Quest 3 と QR コードによって構成される。アプリケーションの開発には、仮想コンテンツの制作用に Unity が用いられ、Meta XR SDK が提供するパススルー機能やインタラクション機能などが活用されている。QR コードの認識機能を実装するため、本稿では、ZXing プロジェクトが Unity 向けに提供するライブラリ「Zxing.unity」を併用した。

3.1 Meta Quest 3

Meta Quest 3 は、Meta 社が開発したヘッドマウントディスプレイ (HMD) であり、カラーパススルー表示機能を備えた、一般消費者向けの価格帯で提供される複合現実 (MR) デバイスである。実物は以下の図 1 に示す。PC VR とは異なり、Meta Quest 3 はスタンドアロン型のモバイルデバイスであり、高性能なモバイルプロセッサと大容量の RAM を搭載している。オペレーティングシステムである Horizon OS は Android を基にカスタマイズされており、そのため Unity を用いた開発が可能である。Meta 社が提供

[†] 琉球大学理工学研究科 Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus

する Meta XR SDK を利用することで、専門の AR アプリケーションを構築することができる。



図1 Quest 3 実物

Meta Quest 3 は多様なインタラクション方式に対応しており、主なものとして、コントローラー、ハンドトラッキング、そして音声コマンドが挙げられる。本稿で提案する AR システムは、非ゲーム用途を想定しているため、後者2つのインタラクション方式のみを利用する。

3.1.1 ハンドトラッキング

Meta Quest 3 に内蔵されたハンドトラッキングアルゴリズムにより、利用者現実的な手を仮想的な手でリアルタイムに追跡する。そして、その仮想的な手と AR シーン内の仮想コンテンツとの間で、物理的なインタラクションプロセスをすることで、現実的な手でのタッチする錯覚を与える。

3.1.2 音声コマンド

Meta Wit.ai のクラウド上にデプロイされた大規模言語モデル (LLM) を用いて、特定の音声テキストとそれに対応するコマンドを学習させる。そして、認識されたコマンドに対応する関数をローカルデバイス上で実行する。

Wit.ai は、Meta 社によって開発された、無料でオープンソースのチャットボット向け AI ソリューションである。その中核機能はテキスト生成ではなく、強力な自然言語理解 (NLU) フレームワークとして、利用者のテキストまたは音声メッセージから深層的な意味を抽出することに特化している。このプラットフォームは、利用者の入力を構造化された意図 (intents) とエンティティ (entities) に解析することでその背後にある目的を理解するが、これらの情報に基づいて具体的なアクションを実行したり、応答を生成したりするためには、開発者がバックエンドのコードを記述する必要がある。その主な特徴として、平均 250 ミリ秒から 300 ミリ秒という高速かつ安定した応答時間と、高い精度が挙げられる。さらに、Wit.ai は現在 13 言語に対応しているが、単一のインスタンスで一度に処理できる言語は一つのみである。

3.2 システム概要

利用者が HMD を装着して AR アプリケーションを起動すると、システムは QR コードのスキャンモードに入る。QR コードが認識されると、その位置に空間アンカーが生成され、次に、QR コードに格納されたデータに基づいて、対応する AR コンテンツがそのアンカー上に固定表示され

る。アンカーの位置が不安定になるジッター現象を回避するため、QR コードを一度認識した後はスキャンモードを無効化する。システムの構成図を図2に示す。

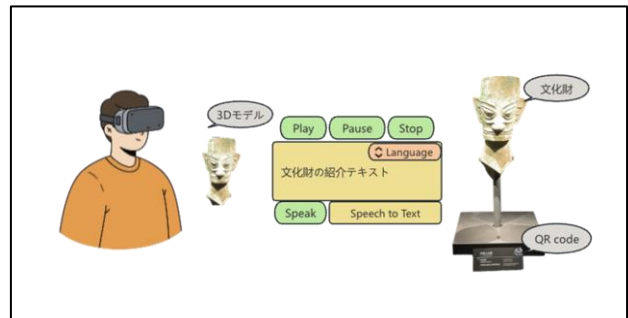


図2 AR システム構成図

3.3 インターフェース

提案する AR システムのインターフェースは、3D モデルとテキストキャンバスの2つの部分から構成される。そのうちテキストキャンバスは、図1に示すように機能に応じて3つのモジュールに分割されている。上から順に、スクリーンリーダー制御モジュール、紹介テキストおよび言語選択肢モジュール、そして音声コマンド制御モジュールである。第一人称視点での表示を図3に示す。



図3 第一人称視点

3.4 インタラクション

利用者が QR コードのスキャンに成功すると、3D モデルとテキストキャンバスは、QR コードの位置から一定の空間的距離を置いた場所に初期配置される。この配置場所は開発段階で事前に設定され、通常は文化財の展示物と空間的に調和する位置が選ばれる。また、利用者が空間内を移動することを考慮し、自らの両手で3D モデルやテキストを直接ドラッグするにより、最適な鑑賞及び閲覧角度に調整することが可能となる。

† 琉球大学理工学研究科 Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus

利用者は、テキストキャンバス上に配置された「Play」、「Pause」、「Stop」の3つの仮想ボタンを手でタップすることで、スクリーンリーダーの再生開始、一時停止、停止を制御できる。ドロップダウンの言語選択肢を選定すると、文化財の紹介テキストの表示言語を変更でき、同時にスクリーンリーダーの読み上げ言語も対応して切り替わる。そして、キャンバス上の「Speak」ボタンをタップすると、ARシステムは音声認識の待機状態に移行する。この状態で、利用者は Wit.ai で事前学習させた制御用のテキストを発話することにより、スクリーンリーダーの制御や言語選択といった目的を達成できる。利用者が話した自然言語は「Speak」ボタンの右側にあるテキストボックスに表示され、これにより、自らの発話がシステムに正しく認識されたかを容易に判断できる。なお、現時点では、音声制御は中国語のみに対応している。

3.5 ワークフロー

本システムのワークフローは、利用者が HMD を装着し、Horizon OS のホーム画面からアプリケーションを起動することで開始される。起動後、システムは初期状態である QR コードのスキャンモードに移行する（図4参照）。利用者は HMD の前面カメラを対象の QR コードに向ける必要があり、システムは視野内の QR コード情報を継続的に検出し、その認識を試みる。

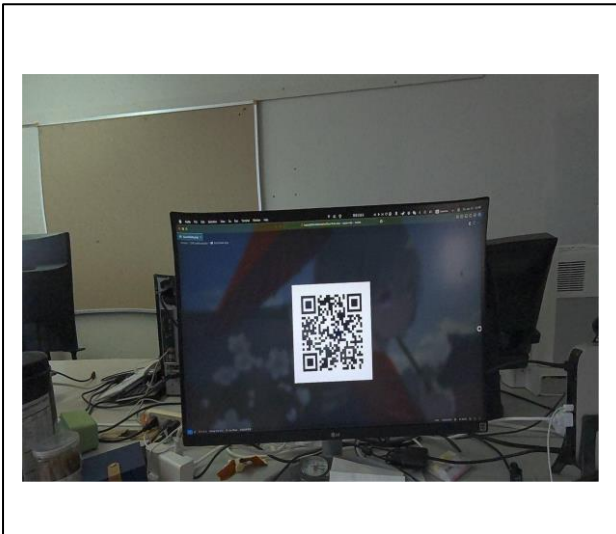


図5 スキャンモード

システムが QR コードの認識に成功すると、一連の自動処理がトリガーされる。まず、QR コードの物理的な位置を基準として、空間内に安定した空間アンカー（Spatial Anchor）が生成される。直後に、頭部の微細な動きによるアンカー位置のジッターを防ぎ、後続コンテンツの安定性を確保するため、QR コードのスキャンモードは即座に終了される。続いて、QR コードからデコードされたデータに基づき、対応する AR コンテンツが呼び出されて初期化され、空間アンカーに対してあらかじめ設定された相対位置に表示される（図5参照）。これにより AR コンテンツの初期化プロセスが完了し、システムはユーザインタラクションの段階へと移行する。



図5 ARコンテンツ

インタラクション段階において、利用者はまずハンドトラッキング機能を用い、物理的なドラッグ操作で 3D モデルとテキストキャンバスの位置を直感的に調整し、最適な鑑賞・閲覧角度を得ることができる。その後、利用者は2つの並行した経路を通じてシステムと対話することが可能である。第一の経路は手による直接操作であり、利用者は UI 上の仮想ボタンを指でタップすることで、スクリーンリーダーの再生、一時停止、停止や言語の切り替えを行う。第二の経路は音声対話であり、「Speak」ボタンをタップして音声認識モードを有効化した後、事前に定義された音声コマンドを発話することで、同様の制御操作を実行する。システムはいずれかの経路からコマンドを受信すると、直ちに対応する機能を実行し、利用者の次の操作を待機する。最終的に利用者がアプリケーションの終了を選択した時点で、一連のワークフローが完了する。本システムのワークフロー全体を図6に示す。

† 琉球大学理工学研究科 Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus

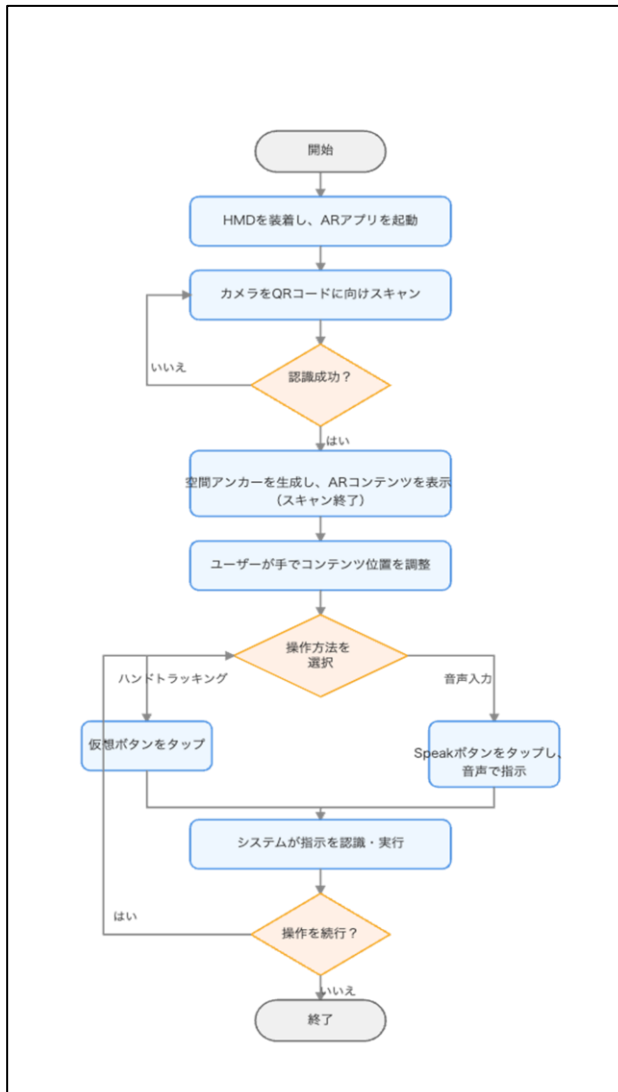


図6 ワークフロー全体図

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP23K11667 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Siang, Tan Gek, et al. "Augmented reality mobile application for museum: A technology acceptance study." 2019 6th international conference on research and innovation in information systems (ICRIIS). IEEE, 2019.
- [2] Guedes, Leandro Soares, Luiz André Marques, and Gabriellen Vitório. "Enhancing interaction and accessibility in museums and exhibitions with augmented reality and screen readers." Computers Helping People with Special Needs: 17th International Conference, ICCHP 2020, Lecco, Italy, September 9–11, 2020, Proceedings, Part I 17. Springer International Publishing, 2020.
- [3] Kyriakou, Panayiotis, and Sorin Hermon. "Can I touch this? Using natural interaction in a museum augmented reality system." Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage 12 (2019): e00088.
- [4] Hou, Weiting. "Augmented reality museum visiting application based on the Microsoft HoloLens." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1237. No. 5. IOP Publishing, 2019.
- [5] Hammady, Ramy, et al. "A framework for constructing and evaluating the role of MR as a holographic virtual guide in museums." Virtual Reality 25.4 (2021): 895-918.

4. おわりに

HMDは、プロジェクタと3Dディスプレイ技術の主要な利点を統合している。同時に、利用者が占有して使用するデバイスとして、利用者は異なるQRコードをスキャンすることで、それぞれに対応したARコンテンツを呼び出すことができる。さらに、自らの意図に応じてコンテンツを任意に操作することが可能であり、これは、利用者が文化財に関する知識を学習する上での主体性を引き出す効果が期待できる。

本稿で提案したARシステムは、現在まだ開発段階にある。今後は、さらに実用的な機能モジュールを追加する計画であり、例えば、テキスト生成AIとの対話機能を通じて、利用者の疑問に答えるといった機能が考えられる。将来的には、来館者を対象とした多角的なアンケート調査や評価実験を実施し、本システムの有効性を検証していく予定である。

† 琉球大学理工学研究科 Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus