



# 全天周映像を用いた遠隔体験型タイムライン MR システム

本郷宏樹<sup>1)</sup>, 池田奎吾<sup>1)</sup>, 中村文彦<sup>2)</sup>, 木村朝子<sup>2)</sup>, 柴田史久<sup>2)</sup>

Hiroki HONGO, Keigo IKEDA, Fumihiko NAKAMURA, Asako KIMURA, and Fumihisa SHIBATA

1) 立命館大学 大学院情報理工学研究科 2) 同 情報理工学部

(〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

**概要** : 我々は, 時間軸上の複数点での実光景の融合表示を実現する時系列複合現実感 (通称, タイムライン MR) の実現を目指している. 本研究では, タイムライン MR の一形態として, 全天周型の定点カメラ映像を用いた遠隔体験型システムの実現を目標としている. 本稿では, 定点映像の配信方法やタブレット端末および HMD によるプロトタイプシステムの設計について述べる. システムを実装した後, 実地で一連のシステムの動作確認をした. その結果, 遠隔型のタイムライン MR 体験が可能であることを確認できた.

**キーワード** : タイムライン MR, 複合現実感, 全天周映像

## 1. はじめに

近年, 人工現実感 (Virtual Reality; VR) や拡張現実感 (Augmented Reality; AR), 複合現実感 (Mixed Reality; MR) の研究が盛んに行われている. また, AR/MR を発展させた研究テーマとして現実世界に存在する物体を隠蔽・消去する隠消現実感 (Diminished Reality; DR) の研究も行われてきた[1].

我々は, MR/DR の次なる発展形として時系列複合現実感 (TimeLine Mixed Reality; TL-MR, 通称, タイムライン MR) という概念を提唱している[2]. 従来の MR が仮想と現実の実時間融合であることに対して, タイムライン MR は時間軸上の複数点での実光景の融合表示を実現する. すなわち, 時間差のある「リアル+リアル」の合成である. タイムライン MR における片方は原則として現在時刻であり, 対象は眼前の光景である. MR/DR と同様に実時間対話形式で操作できることが必須条件であり, 実光景の中の任意の箇所を過去の実映像に置き換える融合処理の実現を目指したものである.

タイムライン MR の応用先として有望なのは, 景観を重視する建築・都市計画や防災等の分野と考えている. 歴史教材の提示や, 時間経過が意味を持つようなものを対象とした利用が考えられる.

このとき, 体験者によるタイムライン MR 体験は, その実現方法, すなわち使用するデバイスとどのような場所で体験するかという体験場所によって分類される (図 1). 前者については, ある程度広い視野を確保したいとの考えから, タブレット端末と HMD を用いて研究を進めている. 一方, 後者については, タイムライン MR の用途を考慮す

れば, 文献[2]で述べたように, 屋外における地上からの体験 (タイプ I) や屋外のビルの高層階や展望台などの高所での体験 (タイプ II) など現地での体験が基本形となるが, 山頂など人の立ち入りが難しい場所に設置された定点カメラやドローン搭載カメラからの観測映像をもとにした遠隔体験 (タイプ III) も想定している. 遠隔体験型のタイムライン MR の実現について考えた場合, 遠隔地での映像をリアルタイムに取得し, 屋外でのタイムライン MR 体験と同様の体験を実現することが求められる. そこで本稿では, 屋内での利用を前提に, 遠隔体験型タイムライン MR システムのプロトタイプの設計と実装について述べる.

## 2. 遠隔体験型タイムライン MR システムの設計

### 2.1 概要

遠隔体験型タイムライン MR システムでは, 体験者の眼前の光景を用いるのではなく, 遠隔地に設置された定点カメラやドローンなどで取得したリアルタイムの映像を用いて「リアル+リアル」の合成を行う. これは, タイムライン MR の基本形とは異なるため, 本稿では遠隔体験型タイムライン MR と定義している.

遠隔体験型タイムライン MR では, 遠隔地に設置した定点カメラからの映像をリアルタイムに送信し, 体験者がそ

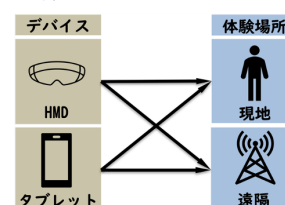


図 1: タイムライン MR の体験方法

の映像を見ながら遠隔地における現在と過去の融合を体験することを想定している。そのため、本稿では、定点カメラの映像をライブ配信し、体験者がタブレット端末もしくは HMD を用いて一連の体験ができるようなプロトタイプシステムを実現することを目標とする。

## 2.2 プロトタイプシステムの構成

プロトタイプシステムは、使用機器、通信方法、システム UI の 3 つに分けて設計する。

本システムで使用する機器は、体験者に情報提示を行うタブレット端末や HMD、遠隔地において現在の光景を取得する定点カメラ、および両者の間をつなぐ配信用機器である。MR を実現する手段としては、ビデオシーズルー型と光学シーズルー型の 2 種類が存在するが、遠隔地の映像を提示するという仕組み上、本システムではビデオシーズルー型になる。遠隔地に設置する定点カメラについては、体験者の姿勢変化に追従する形で映像が変化すると体験の質が向上すると考えられる。これを実現するには、体験者の姿勢変化にあわせて定点カメラの姿勢を制御する方法と、定点カメラとして全天周カメラを採用し、体験者の姿勢変化にあわせて全天周映像の一部を切り取って提示する方法が考えられる。本研究では後者の方法を採用することとした。いずれの場合も、カメラ本体が直接通信可能であるか、あるいはカメラと通信可能な機器と接続が可能であることが条件であり、配信用機器がこれに該当する。

通信方法とは、定点映像の配信・取得方法についてである。遠隔地の映像を体験者に安定して提示することが求められ、詳細については 2.3 節で述べる。

システム UI とは、遠隔地を対象としたタイムライン MR 体験を提供するのに適した UI についてである。体験時に必要となる機能としては、タイムライン情報を提示する対象（以降、スポットと呼ぶ）の選択、使用する過去画像の選択、選択した過去画像の切り替えなどの機能を想定している。

## 2.3 定点映像の配信方法

遠隔地からの定点映像の配信方法は、配信規格と構築する配信サーバの 2 つに分けて考える。複数端末での同時利用を念頭に、カメラで取得した映像を配信サーバが受け取った上で、それをクライアントである体験者の端末へ配信する方式とする。サーバからの配信規格は HTTP Live Streaming (HLS) を採用する。HLS は、ライブ配信に最も使用されているプロトコルであるとされており [3]、汎用性の高い HTTP プロトコルを利用しているためにこれを選定した。一方、カメラから配信サーバへの映像送信には Real-Time Messaging Protocol (RTMP) を採用し、構築する配信サーバは、RTMP で受信して HLS で配信する方式で構築する。カメラからの映像送信に RTMP を採用したのは、OBS などのライブ配信に用いる機材では RTMP エンコーダが使用されていることが多いためである。以上より、プロトタイプシステムでは RTMP to HLS 配信形式で配信サーバを構築する（図 2）。

## 3. 遠隔体験型タイムライン MR システムの実装

### 3.1 使用機器とソフトウェア

2.2 節で述べた設計方針に従って、プロトタイプシステムを実装した。使用機器には、体験者用の端末としてタブレット端末には Apple iPad Pro を、HMD には HTC VIVE Pro を用い、定点カメラとしては RICOH THETA V を使用した。配信用のソフトウェアとして Open Broadcaster Software (OBS) を用い、タブレット端末でのシステムでは、サーバ構築のために Docker を使用した。

システムの実装においては、iPad Pro と VIVE Pro で異なる開発環境を使用している。iPad Pro では、システムを作成するため Xcode で用い、Swift 言語で実装した一方、VIVE Pro では Unity を用いて実装した。VIVE Pro での実装では、Steam VR Plugin を用いている。また、定点カメラの映像を取得するために外部アセットである AVPro Video[4] を導入した。

定点カメラとしては、RICOH THETA V を選定した。THETA V では、全天周映像をリアルタイムで取得できるため、これを用いることで仮想的にパン・チルト操作を実現した。また、Wireless Live Steaming を用い、THETA V が無線 LAN と接続して映像の配信ができるようにした。

### 3.2 タイムライン MR の提示コンテンツ

タイムライン MR で扱う過去の写真は、中長期間にわたって、過去の現実世界の景観を様々な位置・姿勢から撮影したものである。体験時には、その中から体験者が指定したスポットに合致するような写真をデータベースから取得し、体験者が見ている光景に対して位置合わせを行って提示することを想定している。将来的には、任意の位置・姿勢で撮影した写真を対象にしてタイムライン MR を実現することを考えているが、本研究では第 1 ステップとして、定点カメラと過去に撮影した写真の撮影位置が同一であるという条件のもとでシステムを構築する。

### 3.3 タブレット端末での実装

#### 3.3.1 タブレット端末での映像提示方法

タブレット端末の実装では、HLS の再生に AVFoundation を使用し、配信サーバの URL を指定することによってストリーミング形式で配信映像を取得する。次に、2D ゲームを作成するとき使用する SpriteKit を用いて配信映像を 2D Scene の画面全体で見えるように配置する。その後、3D ゲームを作成するとき使用する SceneKit を用いて球体のオブジェクトを作成し、作成したオブジェクトのマテリアルとして SpriteKit で作成した 2D の Scene を指定し、カメラの位置をオブジェクトの中心に設置している。体験者の姿勢変化に追従して仮想カメラの姿勢を変更することで全周を確認できる。



図 2: 定点映像の配信方法

配信サーバの構築では、高速な起動や停止が可能な Docker を利用している。具体的には、RTMP to HLS 配信に対応した Nginx の `alfg/nginx-rtmp` を用い、配信サーバを構築した。

### 3.3.2 タブレット端末のユーザインタフェース

ここでは、実装したタブレット端末のユーザインタフェースに関して、体験者が行える一連の操作手順について述べる。

#### Step 1) 選択されたスポットの過去情報の選択 (図 3)

アプリケーション起動時は、定点カメラから配信されている映像が提示される。対象のスポットに対して過去写真選択と書かれたボタンを押すことで過去の写真が時系列順に並んだ画面に遷移する。過去画像は、横型年表形式に並んでおり、体験者は左右にスクロールすることで過去画像を見ることができる。体験者が置き換えたい過去画像をタップすることで選択・非選択状態を切り替えることができる。選択終了のボタンを押すことで元の画面に戻る。

#### Step 2) 選択されたスポットでの TL-MR 体験

過去の写真を選択した状態でライブ配信の画面に戻ると初期位置合わせが行われた位置に過去写真が配置される。タイムライン MR では時系列順を重視している点からどの順番で選んでも古い光景から新しい光景に切り替わっていく仕様になっている。そのため、選択した過去写真の時系列順で一番古い写真が最初に表示される。画像切り替えを行うには、Next もしくは Back ボタンを押すことで切り替えることができる。また、過去の光景の透明度を調整できるボタンを実装した。体験者がボタンをタップし、左右にスワイプすることで表示されている過去の光景の透明度が変化する。また、体験スポットの切り替え機能を実装した (図 4)。体験者は、ボタン操作で 2 地点を自由に切り替えることができる。さらに、本システムでは、カメラのパン・チルト操作を 2 パターンの方法で実装した。

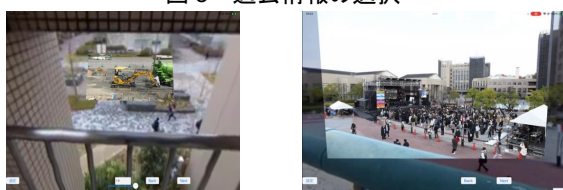
#### パターン 1) センサ情報で視点を変更するモード

Apple 社が提供する Core Motion を利用することで iPad Pro に搭載されている各種センサ情報が利用できる。本フレームワークを用いてタブレットの位置・姿勢情報を取得することで、タブレットの動きに追従して、遠隔地からの



(a) 未選択状態 (b) 選択状態

図 3: 過去情報の選択



(a) スポット 1 (b) スポット 2

図 4: 体験スポットの切り替え

映像のパン・チルトを実現した。

#### パターン 2) ジェスチャ操作で視点を変更するモード

本モードでは、体験者はタブレットの画面を左右にスワイプすることによって水平 360 度を見渡すことが可能である。また、上下スワイプでの垂直方向の操作を行うことができ、これによって映像のパン・チルト操作を実現した。

### 3.4 HMD での実装

#### 3.4.1 HMD での映像提示方法

遠隔地からの映像を RTMP to HLS 配信で行うためには、これに適したサーバ構築を行う必要がある。タブレット端末の実装と同様に、`alfg/nginx-rtmp` でサーバを構築したところ、Unity 上で安定して映像を取得できないという現象が発生した。そこで、配信方式を再設計し、YouTube ライブを用いて遠隔地の映像を配信・取得する方法を実装した。YouTube ライブは、RTMP to HLS 配信での 360 度映像のライブ配信が可能であることと、Unity でライブ映像の取得に必要な `m3u8` ファイルを取得することができるという特徴を持つ。また、全周映像を取得する THETA V は、接続の安定性を重視して有線接続で実装した。

映像提示方法は、Unity 上で球体のオブジェクトを作成し、中心に Camera Rig を配置することで体験者に映像を提示している。球体のオブジェクトの内側に Unity 上で取得した定点カメラの映像をマテリアルとして指定することで全周映像を体験者に提示している。本研究では、`m3u8` ファイルを指定することでライブ配信された映像を取得することができる AVPro Video を用いて実装した。この映像提示方法では、体験者は常に 360 度の任意の方向を確認することができる。また、体験者の動きに合わせてカメラの位置姿勢が変更されることでパン・チルト操作を実現した。

#### 3.4.2 HMD のユーザインタフェース

ここでは、実装した HMD のユーザインタフェースに関して、体験者が行える一連の動作について 3 ステップに分けて説明する。

#### Step 1) タイムライン MR を行うスポットの選択 (図 5)

システムを起動することで定点カメラから配信されている映像とスポットの位置を示す赤枠が表示される。体験者は、赤枠内にコントローラを向けることでタイムライン MR 体験を行うスポットを選択することができる。画面左下には体験者が向いている方向とスポットの位置を示す地図表示されており、視界外のスポットを確認できる。

#### Step 2) 使用する過去画像の選択 (図 6)

体験者がスポットを選択すると、過去画像が体験者の眼前に表示される。過去画像の表示形式は横型年表形式となっており、コントローラの左右スティックで切り替えることができる。過去画像の選択はトリガーを引くことで行え、横型年表で最後の画面まで進むと選択終了画面が表示され、使用する画像を決定することができる。

#### Step 3) 選択されたスポットでの TL-MR 体験 (図 7)

使用する過去画像を決定することで、スポットに選択さ

れた過去画像が重畳描画される。この時に過去画像は体験者に時間的変遷を正しく提示するために、選択された順番によらず必ず選択された画像の中で最も古い画像から時系列順に表示される。体験者は、左右スティックを操作することで画像を時系列順に切り替えることができる。また、タイムライン MR 体験中に使用する過去画像や対象とするスポットを変更する機能を実装した。体験中に体験者の視界を塞がないようにするためにコントローラのグリッドボタンで表示・非表示を切り替えることができるようにしている。表示中に過去画像選択もしくはスポット変更ボタンを選択することで Step1, Step2 へ遷移する (図 8)。

### 3.5 動作確認

タブレット端末と HMD それぞれのシステムを実地で動作確認を行うために遠隔地の過去データが蓄積されている場所に定点カメラを設置した。タブレット端末のプロトタイプシステムでは、立命館大学びわこくさつキャンパス内のレクセル横の木を対象とした。一方、HMD では、BKC キャンパスの改修工事の様子を撮影していたキャンパスプロムナードの水場を対象とした。THETA V の映像をライブ配信する機材として MacBook Air を使い、体験者は、HMD を接続した PC が設置された部屋で体験した。

動作結果は、タブレットと HMD の両方も一連の動作が正常に作動することが確認した。しかし、タブレット端末、HMD ともに映像が滑らかに再生されないことがあった。また、HMD では、体験時に体験者自身が小さくなったように感じるという違和感が生じていた。

## 4. 考察

映像が滑らかに再生されない原因は、参照している m3u8 ファイルにおけるセグメントファイル(ts ファイル)の分割数だと考える。本システムでは、ts ファイルの分割数をタブレット端末、HMD ともにデフォルト値で実装した。そのため、分割単位を長く設定することでダウンロード処理の回数を抑え、滑らかに再生できる可能性が高いと考える。また、HMD では大勢が同時に使用する学内 LAN を使用して配信をしていたため、通信速度や帯域幅が十分に確保されず影響を受けた可能性があると考えられる。

HMD での体験中に違和感が生じた原因は 2 つ想定される。1 つの可能性は、視差によるものである。定点カメラ

の映像が単眼による撮影であるのに対して、HMD では両眼で描写したことで実世界の奥行きと異なるように見えた可能性がある。2 つ目は、体験場所による影響である。動作確認時に使用した定点カメラ設置場所は、直近に壁や手すりが存在する。そのため、体験者が姿勢を変えたときに実世界の動きとは異なる動きをすることで体験者が錯覚を起こし、違和感が生じた可能性があると考えられる。

## 5. むすび

本稿では、タイムライン MR の一形態として、遠隔地からの映像を対象としたタイムライン MR システムのプロトタイプを実装した結果について報告した。具体的には、タブレット端末、HMD および配信サーバから成るシステム構成の検討や、遠隔地からの映像を安定して提示する手法の検討などを行い、それらを元にプロトタイプシステムを設計・実装した。さらに、動作確認を行い、実装したシステムで一連の体験が可能であることを確認した。

今後の研究課題としては、配信方法において ts ファイルの分割数の検討や HLS 以外の配信規格の再検討を行いより安定した配信システムの構築を目指すことがあげられる。また、映像の提示方法においても違和感を提示しない方法の検討をしていく必要がある。さらに、本システムにおける UI は必要最低限であったため、使用デバイスに合わせた更なる拡張を行う必要がある。

### 参考文献

- [1] 森尚平, 他: 隠消現実感の技術的枠組と諸問題～現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について～, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.239 - 250, 2011.
- [2] 柴田史久, 他: 時系列複合現実感 (Timeline MR) の概念形成と諸問題の考察, 日本バーチャルリアリティ学会第 62 回複合現実感研究会, MR2021-1, 2021.
- [3] T. Ruether: Video Streaming Latency Reports 2021, WOWZA media systems, 2021.
- [4] RenderHeads: AVPro Video: <https://www.renderheads.com/content/docs/AVProVideo/articles/intro.html>



図 5: スポットの選択



図 6: 過去画像の選択



図 7: 重畳描画の結果



図 8: Step1 および 2 への遷移画面