



# タイムライン MR システムにおける動画素材提示手法の検討

宮崎和海<sup>1)</sup>, 細川怜央<sup>1)</sup>, 中村文彦<sup>2)</sup>, 木村朝子<sup>2)</sup>, 柴田史久<sup>2)</sup>

1) 立命館大学 大学院情報理工学研究科 2) 立命館大学 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。先行研究で開発したプロトタイプシステムでは、静止画像と 3D モデルを用いた体験が主であった。そこで本研究では、より臨場感の高い体験の実現を念頭にタイムライン MR システムにおける動画素材提示手法を検討する。タイムライン MR 体験を、動画素材撮影時のカメラの位置姿勢、体験者の位置によって分類した上で、いくつかのパターンにおいて映像提示位置合わせ処理を実装し、動作確認を行った。

**キーワード:** 複合現実感, タイムライン MR, 映像

## 1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality; MR) は、この四半世紀の間に様々な研究が進められ、大いに飛躍を遂げた[1]。AR/MR の応用として、現実世界に存在する物体を視覚的に隠蔽・消去する隠消現実感 (Diminished Reality; DR) の研究が行われている[2]。

我々は、MR/DR の発展形としてタイムライン MR の概念を提唱している。タイムライン MR とは、正式名称を「時系列複合現実感 (Timeline MR; TL-MR)」という。従来の MR が現実と仮想の実時間融合であるのに対し、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、すなわち、時間差のある「リアル+リアル」の融合を目指している。厳密に言えば、ここで我々が提唱するタイムライン MR の基本形は、時間軸上の任意の 2 時刻間の融合ではなく、片方は現在時刻であり、対象は体験者の眼前の光景である。タイムライン MR の応用分野には、景観を重視する建築・都市計画・防災などが考えられる[3]。歴史的な建造物の写真を用いた AR 体験を実現する試みも始まっている[4]。

タイムライン MR には、体験を行うデバイスや場所の違いによる様々な体験形態が存在する。特に本研究では、ユーザーが体験場所に赴き、HMD を装着して体験を行うことを想定している。また、タイムライン MR では、体験形態だけでなく過去の様子を示すコンテンツについても複数の種類を検討している。先行研究での段階では、3D モデル及び静止画像の 2 種類について検討してきた。

本研究では、これに動画による体験を加えることで、より高い臨場感と繊細な変化をユーザーに提供できると考え、タイムライン MR における動画素材の提示方法につい

て検討した。本稿では、その検討内容について報告する。

## 2. タイムライン MR システムへの動画素材の導入

### 2.1 動画素材を導入する上での検討事項

タイムライン MR の実現には、MR と同様に幾何学的整合性を図る必要がある。静止画像の場合、一度位置合わせを行ってしまえば、体験者が動かない限りは幾何学的整合に狂いは生じない。しかし、動画素材には時間の概念が存在する。例えば、撮影時にカメラを横に移動させながら撮影した動画素材を用いるとすると、動画内の最初のフレームに関して位置合わせを行った場合、重畳描画する動画素材は時間経過とともに徐々にずれてしまう。動画素材を正しい位置に重畳し続けるには、動画撮影時のカメラの位置姿勢に対応した位置合わせが必要である。そのため、タイムライン MR に動画素材を導入するにあたっては、動画素材撮影時のカメラの位置姿勢情報は必須と考えられる。

### 2.2 動画素材の分類と課題の整理

動画素材は、撮影時にカメラの位置姿勢に変化がない定点映像、ドリーのようにカメラの位置のみを変化させた映像、パン・ティルトのようにカメラ姿勢のみを変化させた映像、および、カメラの位置姿勢どちらも変化させた映像に分類できる。定点映像については、静止画像と同様に扱うことができるが、他の映像については別途考慮する必要がある。

一方、体験者が移動することによって重畳描画する動画素材の見え方が変化するため、体験者の位置姿勢の変化に伴った提示手法を検討も同時に必要となる。そこで、動画素材を対象としたタイムライン MR 体験を、撮影時のカメラの位置姿勢と体験者の移動の有無によって表 1 のよう

に分類した。

### 2.3 前提条件

本研究の目的は、タイムラインMRシステムへの動画素材の導入であり、幾何学的整合性に焦点を当てている。幾何学的整合性へのアプローチを行うため、以下の条件のもとで撮影および体験を行うこととした。

- ① 動画素材撮影時のカメラの位置姿勢が既知
- ② 動画素材撮影時のカメラの画像パラメタが既知
- ③ 動画素材に映っている対象の位置・形状が既知
- ④ 体験者の位置がセンシング可能
- ⑤ 体験者は撮影時のカメラと同じ位置から体験以後、③については建物を対象とする。

重畳描画する動画素材は、データベースに保管され①～③の情報は動画素材に対応して管理されているものとする。将来的には、体験者の位置姿勢にあわせてデータベース側で最適な動画素材を抽出することを考えている。また、体験者の位置姿勢情報は、センサなどによって情報が得られていることを想定している。

体験者は動画素材が撮影された場所でビデオ透過型HMDを用いてタイムラインMR体験を行うことを想定している。ビデオ透過型では、眼前の光景をカメラで撮影し、その映像を映し出すため、継ぎ目のないMRの実現が可能である。

## 3. 動画素材提示手法

### 3.1 概要

本研究では、タイムラインMRにおける動画素材提示手法の基本となると考えられる表1のパターン1と、それに体験者の位置変化を加えたパターン5のプロトタイプについて検討する。

パターン1および5を対象に検討するため、動画素材として定点映像を用いる。体験者は初期位置として動画素材撮影時のカメラの位置に立ち、2.3節で述べたように動画素材撮影時のカメラの各種パラメタは既知であるとする。ここでの各種パラメタとは、カメラの地面からの高さ、方位角、俯角、水平視野角、垂直視野角のことである。

また、体験者の位置変化を考慮するパターン5では、上記に加えて、体験者の位置、対象物の位置情報を既知とする。この条件のもとで動画素材提示手法について検討する。

表 1: タイムラインMR体験の分類

パターン	撮影時のカメラ		体験者
	位置変化	姿勢変化	位置変化
1	なし	なし	なし
2	なし	あり	なし
3	あり	なし	なし
4	あり	あり	なし
5	なし	なし	あり
6	なし	あり	あり
7	あり	なし	あり
8	あり	あり	あり

### 3.2 初期位置合わせ

初期位置合わせとは、動画素材撮影時のカメラの位置から見たときに、撮影時と同様に見えるように動画素材を重畳描画することである。初期位置合わせ処理に必要なパラメタは、撮影時のカメラの位置、方位角、俯角、水平視野角、垂直視野角である。ここから初期位置合わせの実装方法について述べる。

まず、図1のようなカメラ位置を頂点とする四角錐を考える。この四角錐は空間上におけるカメラの表示領域を表している。頂点から底面の長方形に向かって伸びる4本の直線によってカメラの表示領域が決定される。また、この4本の直線はカメラの水平視野角、垂直視野角、アスペクト比によって決定される。このとき、頂点から底面への垂線は底面の長方形の対角線の交点を通る。動画素材を四角錐の底面となるように配置することによって、過去の光景を再構築可能である。

図2のように、4本の直線上に頂点を持つように動画素材を配置すれば、頂点を移動させても撮影時のカメラの位置からの見え方は変化しない。このように、過去の撮影時のカメラ位置に基づいて四角錐を仮想的に再構築し、これに基づいた位置に過去の動画を描画することで、現在の光景に重畳することができる。

次に前述の四角錐の求め方について述べる。図3における $\theta_v$ 、 $\theta_h$ はそれぞれ垂直視野角、水平視野角の半分の角度、 $d$ はカメラと配置する動画像の距離、 $h$ 、 $w$ は配置する動画像の縦、横の大きさである。最初にカメラの位置が既知なので、その位置を四角錐の頂点とする。カメラの方位角・仰俯角から動画像を配置する方向を決定し、カメラの位置からその方向に向かうベクトルをカメラの方向ベクトルと呼ぶ。カメラの方向ベクトルから上下に $\theta_v$ 、左右に $\theta_h$ 回転させたベクトルを計算し、それぞれ上下ベクトル、左右ベクトルと呼ぶ。式(1)のように $\theta_v$ 、 $\theta_h$ から $\theta_f$ を求め、左右ベクトルを $\theta_f$ だけ回転させることで四角錐を求める。

動画像を表示する大きさは、カメラと配置する動画像の距離 $d$ によって決定され、 $d$ の値から配置する動画像の縦、横の大きさ $h$ 、 $w$ が決定する(式(2),(3))。

$$\theta_f = \arctan(\tan\theta_v \cos\theta_h) \quad (1)$$

$$h = 2 \cdot d \cdot \tan\theta_v \quad (2)$$

$$w = 2 \cdot d \cdot \tan\theta_h \quad (3)$$

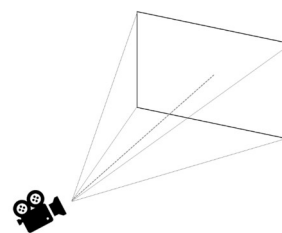


図 1: カメラの視錐台

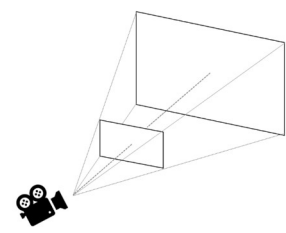


図 2: 視錐台底面の移動

3.3 体験者の位置変化による位置合わせ

3.3.1 対象物上のある1点の座標が既知の場合

対象物上のある1点の座標が既知の場合、位置合わせをその情報のみで行わなければならない。この場合、図4に示すような考えに基づいて動画素材の位置合わせを行う。まず、初期位置合わせを行う。初期位置合わせでは、体験者の初期位置と重畳描画する動画との距離 $d$ を指定し、対象物上の1点の座標、体験者の初期位置、距離 $d$ から対象物上の1点の座標と重畳描画する動画素材の距離 $l$ を決める。また、HMDのセンサによって体験者の位置変化後の位置情報を取得する。

図4のように体験者が移動量 $m$ だけ移動した場合に動画を $lm / (l + d)$ だけ移動させることで、対象物上の座標と体験者の直線上にある動画素材の一部に対して、移動前後で位置合わせが可能となる。また、移動前後で、重畳描画する動画素材の大きさを移動前後の体験者と対象物上の1つの座標間の距離の比 $k$ で拡大・縮小することで大きさの変化にも対応できる。

3.3.2 対象物のバウンディングボックスが既知の場合

バウンディングボックスとは対象物を囲むような直方体である。対象物のバウンディングボックスが既知の場合では、4.3.1節で述べた手法より、正確な位置合わせを行うことができると考える。

バウンディングボックスが既知の場合は、動画素材を複数枚の動画に分割して重畳描画する。まず、初期位置合わせによって動画を配置する。初期位置から分割した動画の中心に向かうベクトルを生成し、そのベクトルとバウンディングボックスとの交点座標を取得する。その座標をもとに4.3.1節と同様に位置合わせを行う。4.3.1節の手法と異なるのは、分割した重畳描画する画像1つ1つに対し、位置合わせを行うことである。図5は、対象物のバウンディングボックスが既知の場合の手法のイメージであり、重畳描画する動画の分割数を2つとしている。この例では、右側の動画像に対しての位置合わせ方法を示している。

4. 動作確認

4.1 使用機器

本研究の実装には開発環境としてUnity、体験に用いるデバイスとしてHTC VIVE Pro, Base Station 2.0を使用した。

シミュレーション環境では、シミュレーション上のカメラを利用して動画素材を撮影しており、動作確認では、カメラの位置姿勢などはシミュレータのパラメータを用いた。

MR環境では、シミュレーションとは異なり現実のパラメータを取得する必要がある、眼前の光景を取得するため、VIVE ProにOvrvision Proを取り付けて使用した。動画素材はCanon EOS 5D Mark IIIを三脚に取り付け撮影した。また、Google Mapを用いて対象物の緯度・経度を取得した。

4.2 初期位置合わせ

初期位置合わせの動作結果を図6に示す。シミュレー

ション環境では、理想的な初期位置合わせが行われており、背景と重畳描画された動画とのずれがなかった(図6(a))。一方、MR環境では重畳描画した動画の右側では違和感なかったが、左側の木の部分に注目すると背景と重畳描画された動画に差異が見られた(図6(b))。

4.3 体験者の位置変化に伴う位置合わせ

4.3.1 対象物のある1点の座標が既知の場合

シミュレーション環境での結果を図7に示す。このシミュレーションでは、体験者が対象物に対して2mおよび5m水平に移動したときの様子である。初期位置合わせのみの場合と比較するとこの手法では、体験者が移動しても体験者視点では、重畳描画した動画素材の一部の見え方が変化しなかった。

図8にMR環境において、体験者が初期位置から1.5mほど移動した結果を示している。体験者が移動した場合に、重畳描画している動画素材の中心においては、ずれがないように見える。しかし、動画素材の右側では建物の屋根根部分にずれが生じた。

4.3.2 対象物のバウンディングボックスが既知の場合

図9は、1つの動画を縦5分割、横5分割の計25分割した場合のシミュレーション結果を示している。動画像

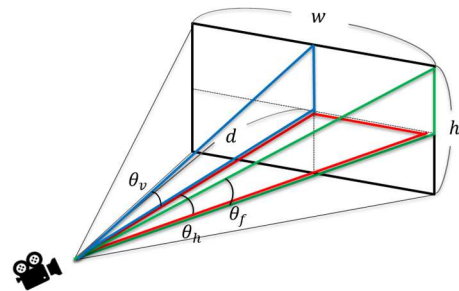


図3: 計算に用いる各種パラメータ

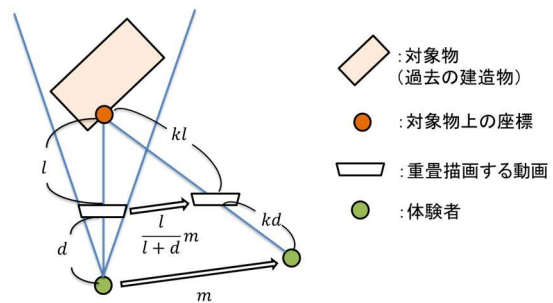


図4: 対象物のある1点の座標が既知の場合

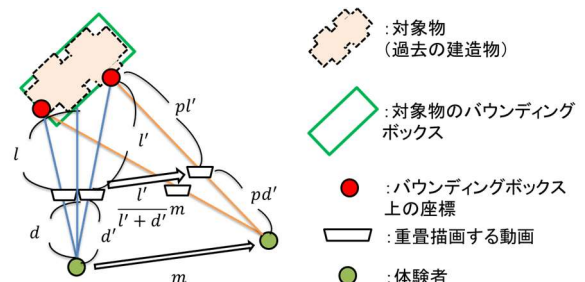


図5: 対象物のバウンディングボックスが既知の場合

の配置には対象物までの距離を用いており、これが取得できないものは非表示としているため、25枚の内16枚が描画された状態となっている。

動画像の分割数を増やすことで、位置合わせの精度が向上した。しかし、動画を分割して位置合わせを行うことで重畳描画する動画の間に隙間が生じた。

#### 4.4 考察

体験者の位置変化を考慮しない場合の初期位置合わせでは、MRでの結果でも精度の高い位置合わせが行われたが、完璧な位置合わせではなかった。これは、方位角や俯角を目視で取得していることや動画素材撮影時の地面が水平でないことが考えられる。

また、1つの動画像を分割して重畳描画した場合は、分割した動画ごとに位置合わせを行ったため、精度が向上した。対象物の3D形状など、対象物の情報量が増加する

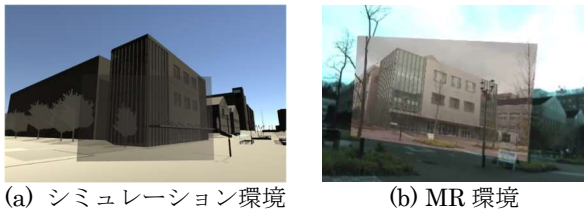


図6: 初期位置合わせの動作結果

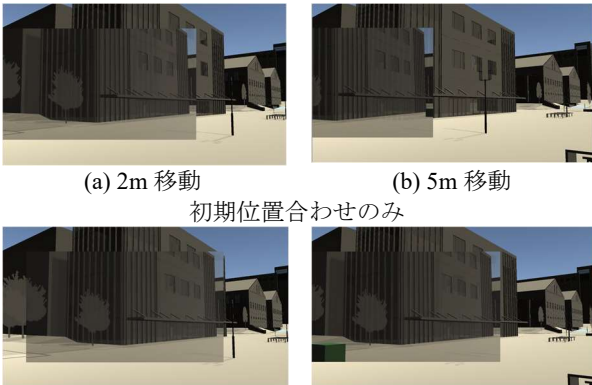


図7: シミュレーション環境での動作結果  
1つの座標が既知の場合の位置合わせ

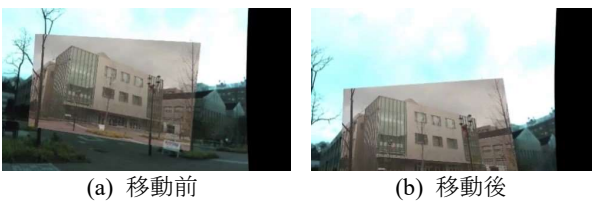


図8: MR環境での動作結果

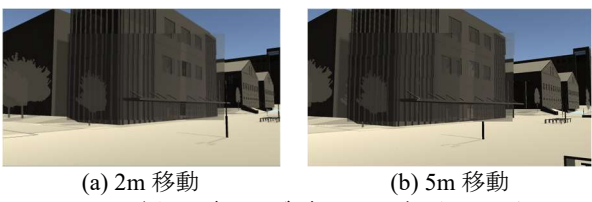


図9: バウンディングボックスが既知の場合

とその情報を用いて、より精度の高い位置合わせができると考える。既知情報をより多くするには、データの収集・蓄積を続けていく必要がある。また、既知情報が少ない場合でも、撮影した動画や画像から対象物となる建物の3次元再構成を行い、位置情報を推定・補完することによって、精度の向上を図ることができると考える。

しかし、この手法では、分割した動画像間に隙間が発生し、タイムラインMR体験に違和感が生じた。隙間をなくすために、動画間の補完などを行う必要があると感じた。

## 5. むすび

本研究では、動画素材の撮影方法について整理し、タイムラインMR体験を様々な条件で分類した。タイムラインMRに動画素材を導入するための足掛かりとして定点映像を用いるタイムラインMRについて検討し、プロトタイプを開発を行った。動作結果として、初期位置合わせについては、問題がなかったが、体験者の移動を考慮する場合は、位置合わせに少々課題があることが分かった。

今後の展望として、プロトタイプの評価を行い、他手法の検討を行う。また、タイムラインMR体験の他のパターンについての提示手法を検討する。

## 参考文献

- [1] 柴田史久: 複合現実感技術の歴史と今後の展望, システム/制御/情報, Vol. 64, No.9, pp. 343-348, 2020.
- [2] 森尚平, 一刈良介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 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
- [3] 柴田史久, 入田真帆, 萩尾恭兵, 村上鉄郎, 木村朝子, 田村秀行: 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 複合現実感研究会, Vol. 24, No. 1, 2021
- [4] Tommy Hasselman, Wei Hong Lo, Tobias Langlotz, Stefanie Zollmann: ARephotography: Revisiting Historical Photographs using Augmented Reality, CHI EA '23, No.40, pp1-7, 2023