

# 複合現実感のための隠消現実感: トラッキング性能向上目的で配置した人工物の視覚的除去

## Diminished Reality for Mixed Reality: DR-Based Removal of Unnatural Objects Placed to Improve MR-Tracking Performance

杉本一平 一刈良介 柴田史久 木村朝子 田村秀行  
Ippei Sugimoto, Ryosuke Ichikari,  
Fumihisa Shibata, Asako Kimura, and Hideyuki Tamura

立命館大学大学院 理工学研究科  
Graduate School Science and Engineering, Ritsumeikan University

**Abstract:** Mixed reality (MR) is a technique for superimposing computer graphics over real environments to enhance the real world. This technique requires techniques for highly accurate estimation of camera positions and orientations for complete mixture of real and virtual objects. Our previous work proposed a vision-based tracking method called rehearsal path method (RPM). RPM utilizes database in which 3-dimensional positions of feature points and image information of these points in a sequence are stored for the tracking. However, such vision-based method tends to be unstable where scenes have little texture. Therefore, it is reasonable to place unnatural objects that can increase the information in a sequence for more stable camera tracking, while such unsightly objects spoil the view. Thus, this paper proposes two methods for removing such objects by using DR-based techniques. One is that constructing a database for RPM, images of areas hidden from the viewer by an object are stored in advance and are superimposed when tracking. Another is that images of the hidden areas are determined and superimposed when tracking. These two methods were used properly depending on situations and showed reasonable results.

**Key Words:** Diminished Reality, Mixed Reality, Vision-Based Camera Tracking

### 1. はじめに

複合現実感の研究分野において、仮想物体を正しい位置に合成する幾何学的整合性の達成に関しては、かねてより数多くの研究がなされ、今もなお最重要課題の 1 つである。屋内外の任意の現場でカメラの位置姿勢を精度高く推定するのに、物理的なセンサ単独での実現は困難であり、カメラが捉えた画像中の特徴の追跡によるビジョンベースの手法が多く提案されている。

我々の研究グループは、映画制作の PreViz 用途を前提として屋内外で利用可能なカメラトラッキング手法である、リハーサルパス法 (Rehearsal Path Method; RPM) を提案している [1]。人工的なマークを配置するなどの背景の変更は PreViz 用途ではできる限り行いたくないため、撮影現場の自然特徴点の 3 次元位置などの情報を Structure from Motion によって求め、あらかじめランドマーク DB (LMDB) として登録しておくことで、背景画像の特徴のみに頼った自然特徴点ベースのカメラトラッキングを実現している。しかしながら、常に画像中から十分な数の自然特徴点を抽出することは難しく、特徴点が少ない場合の対処法として、画像の特徴量を増加させる物体を意図的に配置することや、専用にデザインされた人工特徴点マークを配置することを提案している [2]

本稿では、上記の目的で意図的に配置した物体および人

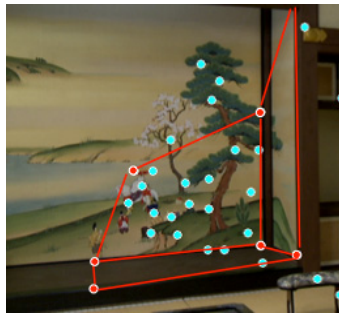
工特徴点マークを隠消現実感 [3] を用いて、視覚的に除去する手法を提案する。除去対象の物体・マークの視覚的な除去は、その物体が映っていない隠背景面群モデルを画像中の物体・マーク領域に重畳することで実現される。隠消現実感において、この隠背景面群モデルの作成は、時間を要する作業であり、モデルの精度が隠消現実感の合成時の精度にまで影響していた。本稿では、この隠背景モデルの作成に RPM で利用する LMDB に登録された自然特徴点の 3 次元位置情報を利用することで、半自動的に効率よく隠背景面群モデルを構築する手法を提案する。幾何位置あわせに利用する特徴点の位置情報をそのまま利用するので、隠背景画像の合成も精度高くなる特長がある。

### 2. 提案手法

#### 2.1 概要

文献 [3] が示すとおり、隠消現実感では除去対象や背景の状況、体験者の移動などの条件が変われば、利用できる条件が異なる。よって、本稿においては、一般性や必要となる事前情報の異なる 2 つの条件において、それぞれの条件に適した 2 つの手法を提案する。それぞれの手法の詳細は 2.3 節にて述べるものとする。

【提案手法 1】第 1 の手法は、除去対象が背景に接していても、予め除去対象のない映像を準備できることを想定する。隠背景面群モデルの構築には、トラッキング性能



(a) 隠背景投影画像の作成



(b) 隠背景投影画像



(c) 隠背景投影画像の描画

図 1 提案手法 1 の概要

表 1 前提条件

基本要素	基本要素別の項目
体験者視点の移動	制限された移動
遮蔽物の存在	なし
除去対象領域の決定	手動で決定するため除去対象領域の推定不要
隠背景の観測手法	事前取得 (提案手法 1) / リアルタイム取得 (提案手法 2)
隠背景の幾何形状のモデル化	単純な隠背景面の組み合わせ

向上のために設置した物体 (除去対象) の映った映像から LMDB を構築し, 同様のパスで撮影された除去対象を取り除いた映像を用いる. 構築された LMDB 中の特徴点の 3 次元位置を隠背景の幾何モデルとし, 除去対象のない画像を幾何モデルにマッピングすることで最終的な隠背景面群モデルが得られる. MR トラッキング時にこれらのモデルを投影した隠背景投影画像を重畳描画し, 除去対象を除去する (図 1).

【提案手法 2】第 2 の手法は, 第 1 の手法で準備した除去対象のない映像を用意できない場合や除去対象が背景から離れて設置されている場合を想定する. ある視点からは除去対象により隠されて見えない背景の光景も, 別の視点からは観察することができる. 提案手法 2 では, これを利用して, トラッキング時に除去対象の後ろの隠背景面群が部分的に見えた際に随時モデルを増築していくことで, MR トラッキング時の映像だけをを用いた隠背景モデルの構築を目指す. 理想的な環境で撮影された別の映像資源を利用しない点で提案手法 2 はより発展的な課題であるといえる.

## 2.2 前提条件

文献[3]に倣えば, 2 つの提案手法は表 1 の基本要素で DR を実現することとなる. 提案手法 1 では, 除去対象のない映像を撮影するため, カメラを LMDB 構築時と同様のパスで動かす必要がある. 本手法は MR-PreViz での利用及び映像撮影では一般的な撮影手法を想定しているため, カメラをレール上の台車 (ドリー) に載せる. 提案手法 2 ではこのような隠背景面の事前構築処理が必要でない. また, 隠背景の幾何形状は, 平面を組み合わせた単純

な立体形状として扱う.

## 2.3 提案手法 1

### 2.3.1 隠背景投影画像の作成

提案手法 1 では LMDB 中の特徴点の 3 次元位置と除去対象のない映像から隠背景投影画像を作成する. 具体的には, 除去対象のない映像に LMDB 中の特徴点を投影させ, ユーザに図 2 のように, 隠背景面を構築する点を選ばせることで, LMDB 中の 3 次元特徴点にマッピングする画像パッチを決定し, 隠背景面モデルを得る. 隠背景面を構築するための特徴点が, ユーザが必要とする位置に検出されない場合を考慮して新たに特徴点を追加する機能も実装した. 具体的には, 画面中で任意に選択したスクリーン座標系の 3 次元位置  $\mathbf{u}$  とレンズ中心の 3 次元位置  $\mathbf{c}$  を結ぶベクトル  $\mathbf{v}$ , これと前フレームから継続して検出された 3 点で形成される平面  $\pi$  との交点  $\mathbf{p}$  を 4 点目の追加点として隠背景面を構築する (図 3).

まず, 交点  $\mathbf{p}$  は,  $\mathbf{c}$ ,  $\mathbf{v}$  及び任意の実数  $k$  から以下の式で表される.

$$\mathbf{p} = (p_x, p_y, p_z)^T = \begin{pmatrix} c_x + kv_x \\ c_y + kv_y \\ c_z + kv_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

また, 点  $\mathbf{p}$  を通る平面  $\pi$  は以下の式で表される.

$$ap_x + bp_y + cp_z + d = 0 \quad (2)$$

$$a(c_x + kv_x) + b(c_y + kv_y) + c(c_z + kv_z) + d = 0 \quad (3)$$



図2 隠背景投影画像の作作用画面

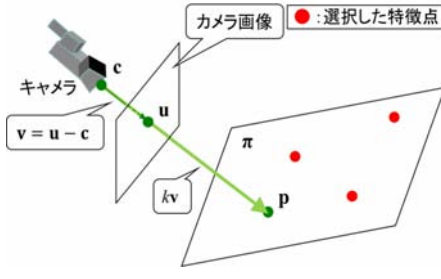


図3 特徴点の追加処理

$$k = -\frac{ac_x + bc_y + cc_z + d}{av_x + bv_y + cv_z} \quad (4)$$

式(4)より得られた  $k$  を式(1)に代入することで、追加点  $\mathbf{p}$  が求まる。

### 2.3.2 隠背景投影画像の描画

2.3.1で作成した隠背景投影画像を除去対象に重畳描画することで、除去対象を視覚的に除去する。隠背景投影画像の重畳描画は、RPMにより推定されたカメラ位置姿勢から単純に行った場合、その精度に依存して隠背景が揺れてしまう。そこで、検出された特徴点のスクリーン座標も併用した隠背景投影画像の重畳描画を行う。特徴点検出により抽出された特徴点のうち隠背景投影画像と対応する4点に直接画像をマッピングすることにより、これらの特徴点を検出されている限りジッターのない合成が可能となる。いずれかの特徴点を検出されなかった場合、前フレームから継続して検出された特徴点の移動ベクトルから検出されなかった特徴点のスクリーン座標を推定することで、隠背景投影画像が常に重畳描画されるようになる。

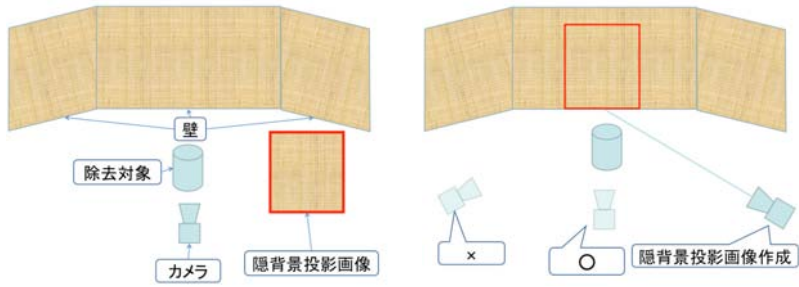
## 2.4 提案手法2

### 2.4.1 隠背景投影画像の作成

提案手法2では、除去対象のない映像を必要としないため、隠背景を観測できる位置までカメラを移動し、その位置から2.3.1と同様の方法で隠背景面群モデルを構築し、隠背景投影画像を作成する。

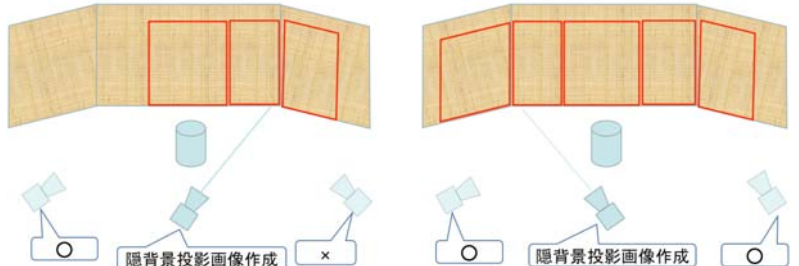
トラッキング時の隠背景の構築の様子を下記に示す。

正面からの観測時に除去対象を除去するために必要とな



(a) イメージ図の説明

(b) 正面から観察時に隠背景を右から撮影



(c) 左から観察時に隠背景を正面から撮影

(d) 正面から観察時に右からの観測用の隠背景から撮影可能

図4 提案手法2の隠背景面群モデルの作成方法

る真中の背景画像は、右側にカメラがある際に撮影可能である(図4(b))。同様に、左からの除去対象を見た際に除去対象を除去するために必要な右の隠背景画像は、カメラが正面にあるときに撮影できる(図4(c))。正面からは、左の隠背景も撮影することが可能なので、これで隠背景のすべてがモデリングできたことになる(図4(d))。

### 2.4.2 隠背景投影画像の描画

隠背景面群モデル化と重畳描画は提案手法1と同様に行う。提案手法2では、除去対象と壁が離れているため、隠背景に地面が含まれるが、地面は模様が少なくなることが多く、特徴点を検出されず、隠背景投影画像が作成できない場合がある。また地面との接地する点は本質的に回り込んでも背景を撮影不可能である。そのため、画像修復(Inpainting)を用いることでこの問題の解決を図る。具体的には、手動で修復したい箇所を選択することで、選択箇所の周辺領域の画素を使用して、補正を行う。補正処理には、OpenCVのライブラリを使用し、カメラが移動する場合は、2.3.2節で説明した移動ベクトルを用いることで追跡する。

## 3. 実験・考察

### 3.1 概要

これまでに説明した2つの提案手法の有効性を実証するため、以下の2つの環境で実験を行い、トラッキング性能向上目的で配置した人工物の視覚的除去を行う。

【実験環境1】シーケンス中の多くを類似パターンが占め、トラッキング精度が低下したため、それを隠すように、また隠した箇所においても安定して特徴点を検出可能にす



(a) 除去前



(b) 除去後 (CG キャラクタあり)



(c) 除去後 (CG キャラクタなし)

図 5 実験環境 1 での実行結果



(a) 除去前



(b) 除去後 (CG キャラクタあり)



(c) 除去後 (CG キャラクタなし)

図 6 実験環境 2 での実行結果

るように人工物（マーカ）を配置

【実験環境 2】カメラを大きくパンした時に、特徴点がトラッキング精度を保つに十分なだけ検出されない光景を含んだため、パンした際も特徴点が検出されるよう、特徴点が検出されやすい人工物をシーン中に配置

実験環境 1 は提案手法 1 を、実験環境 2 は提案手法 2 を適用する。以下、各環境での実験の結果と考察を述べる。

### 3.2 実験環境 1 での実験結果と考察

実行結果を図 5 に示す。綺麗に除去できていることが確認できるが、選択した特徴点の検出誤差や 2.3.2 節で説明した移動ベクトルの推定誤差により、動画においては、地面の模様はずれることがあった。RPM の精度の向上により改善が期待できるが、カメラ位置姿勢推定と独立した隠背景投影画像の合成処理の補正処理の導入による改善が期待できる。

### 3.3 実験環境 2 での実験結果と考察

実行結果を図 6 に示す。現在の体験者視点と異なる視点で隠背景投影画像を作成しているため、隠背景投影画像の中のテクスチャにずれが生じる場合があった。そのため、視点の異なる 2 枚の画像を用いて、ブレンディング処理を行うことでの改善が期待できる。また、特徴点が検出されない領域は Inpainting を利用しているが、周りの画素を用いて補間しているために、補間する範囲内に複数の色が存在するとぼやけたような見え方になっている。そのため、Inpainting の補間処理の改善が考えられる。

## 4. むすび

本稿では、MR における自然特徴点ベースのカメラトラッキングにおいて、そのトラッキング性能を向上させるために配置した人工物の視覚的除去を行った。一般に、DR

において時間のかかる隠背景の再構築を、RMP 法で利用する LMDB を用いることで、効率よく隠背景モデルを構築する手法を実現した。また、隠背景の観測の可否によって選択可能な人工物の除去のための 2 つの手法を提案した。また、これらを MR-PreViz システムに組み込み、実際の撮影環境を模した 2 つの環境において実験し、その有効性を実証した。

立体の隠背景の幾何形状を平面で近似することで起きる合成時の画像のずれや歪みが生じる場合は、隠背景の立体的な幾何形状を復元したり、平面近似であってもブレンディングのような手法を利用したりすることで将来的に解決可能であると考え、今後はこれらの問題に取り組む。

### 謝辞

本研究は、JSPS の挑戦的萌芽研究「ビジュアルマジック隠消現実感の骨格形成と課題抽出」（研究代表者；田村秀行）および、同基盤研究 (A) 「視聴覚併用複合現実空間の表現力向上に関する研究」（研究代表者；田村秀行）の支援によるものである。

### 参考文献

- [1] 田村秀行他：“映画製作を支援する複合現実型可視化技術”，日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 32 - 36, 2010.
- [2] 北村一博他：“ランドマーク DB を利用するビジョンベース MR トラッキング法の性能向上に向けての諸方策”，電子情報通信学会, Vol. 110, No. 381, PRMU2010-172, pp. 177 - 192, 2011.
- [3] 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.