



投影型複合現実感と建物模型を用いた インタラクティブな内外観提示方式

An Interactive MR Building Diorama by Using a Video Projector

張 明¹⁾, 北原格¹⁾, 亀田能成¹⁾, 大田友一¹⁾

1) 筑波大学 システム情報工学研究科 知能機能システム
(〒305-0005 茨城県つくば市天王台 1-1-1, s1220836@u.tsukuba.ac.jp)

Abstract: This paper proposes an interactive MR building diorama that can display both of the surface and the inside structure by using a video projector. One of the key features of our system is that users can hold the diorama with hand and observe it from their favorite viewpoint. Thus, our system obtains the user's viewpoint and localizes the building diorama in 3D space by using two RGB-D cameras in real time. Then CG image corresponding to the relationship among the user's viewpoint, the pose of the diorama and the projector is rendered with Dual Rendering algorithm. As the result, the CG image is correctly projected onto the diorama. Additionally, we develop interactive operations to control the viewpoint by using body movements.

Key Words: MR, video projector, Dual Rendering algorithm

1. はじめに

複合現実感(Mixed Reality : MR)は、我々が存在する現実世界と、コンピュータグラフィックス(Computer Graphics :CG)によって生成された仮想世界とをシームレスに融合して提示する技術である。現実世界では得ることが困難な情報を仮想世界を用いて提示することより、視聴覚を始めとする現実世界の知覚情報の増強を実現することが可能である。

視覚や聴覚の提示装置に関しては、ビデオモニターやプロジェクタ、スピーカやヘッドホンなど、広く普及が進んでいる一方で、触力覚の提示装置に関しては、現在も活発な研究開発が進んでいるものの、汎用化が進んでいるとはいいがたく、利用可能な環境や、適用事例は限定されている。

そのような状況を背景に、MR 技術を用いて視覚情報を操作することにより、触力覚提示デバイスの機能を補間しようという試みが行われている[1]。実在する物体を掴んだり、触ったりすることにより、大まかな触感を与えた上で、表面のテクスチャなど視覚情報を操作することにより、微妙な感覚を再現することに成功している[2][3][4]。玩具の銃を手にして CG の敵を倒す戦闘シミュレーションや、ステアリングやシフトレバーを操作しながら運転シミュレーションを行うシステムが実現されている。さらに、[6]ではこのような機能を自動車インテリア・デザインに積極的に取り入れ、その有用性を実証している。

博物館などでは、建物のジオラマを用いて、建物の外観や内部構造展示する例がしばしば見られる。実物体を間

近で、ときには手にとって観察することにより、空間的な広がりや構成の理解がしやすい反面、複雑な内部構造を有する場合には、模型での再現が難しい場合があることや、観察可能な領域はジオラマ作成時に決められてしまうなどの問題が存在する。

本研究では、ジオラマ模型と投影型 MR 技術を統合することにより、両者の長所を持ち合わせた情報提示手法の実現を目指す。具体的には、手に取って観察可能なジオラマ模型上に、ビデオプロジェクタを用いて詳細な視覚情報を投影することで、模型では表現が困難な複雑な模様や構造の提示を実現すると共に、投影情報を適宜切替えることで、現実では提示困難な様々な領域や構造の可視化を実現する。

2. 関連研究

目の前の実物体に対してインタラクティブに仮想情報を提示する研究例を紹介し、提案手法での映像提示の方向性について述べる。Ryan Bane らは、X線画像やワイヤフレームを重畳することにより、実在する建物の内部構造を可視化するシステムを提案している[5]。形態型デバイスを用いて、死角領域を複合現実型提示することにより、建物を透視化する研究にも注目が集まっている[6]。頭部搭載型プロジェクタを用いて、ユーザの視点移動や動作に対してインタラクティブに目の前の実物体に映像を投影提示するシステムも提案されている[7]。これらの研究では、ユーザは、HMD、形態型端末やビデオプロジェクタを

装着する必要があるため、身体的負荷が発生する。

本研究では、ユーザの身体的負荷を軽減するために、据え置き型のビデオプロジェクタを用いて、実物体に仮想情報を提示する。提示装置を身に付ける必要がないため、身振りのような身体情報を用いて、インタラクティブな提示映像への操作を可能にする。提案手法の特性が活かせる応用事例として、建物の外観と内観画像を建物模型(実物体)上に投影するシステムを構築する。ユーザの視点位置と建物模型の位置・姿勢などの三次元情報は、RGB-Dカメラを用いて取得する。建物模型によって与えられる触感と視覚刺激を提示することにより、より豊かな情報提示方式の実現を目指す。

3. 建物模型を用いたインタラクティブな内外観MR提示方式

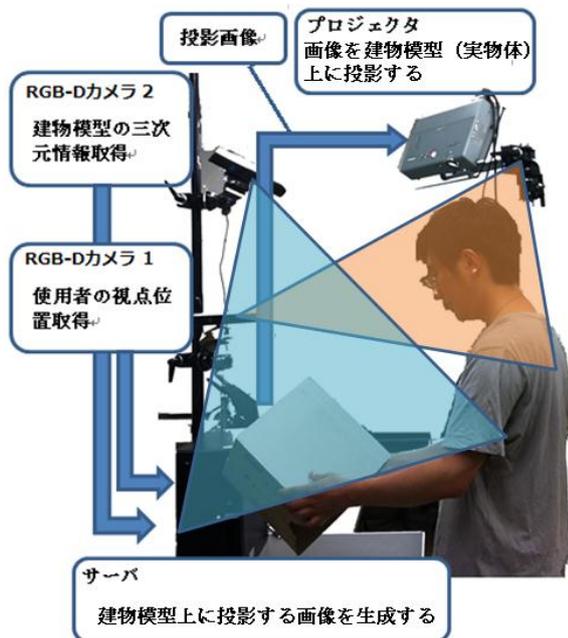


図 1 建物模型を用いたインタラクティブなMR内外観提示方式

提案システムの構成を図1に示す。ユーザは、建物模型を手を持った状態で観察を行う。ユーザの視点位置と建物模型の位置・姿勢をRGB-Dカメラを用いて獲得し、仮想物体像の見え方を適切に変換した後、ビデオプロジェクタを用いて投影し、MR提示を実現する。ユーザは、身振りを用いて提示される仮想物体の深度を操作することが可能であり、外観から内部構造までを切替えながら観察することができる。

図2を用いて、提案システムの動作を説明する。

1. 事前処理

RGB-Dカメラ座標系とプロジェクタ座標系間の変換行列を求めるために、事前にキャリブレーションを行う必要がある。本研究では、RGB-Dカメラの可視光(RGB)カメラで撮影した映像に対してキャリブレーションを行い、下記の三つの変換行列を求める。

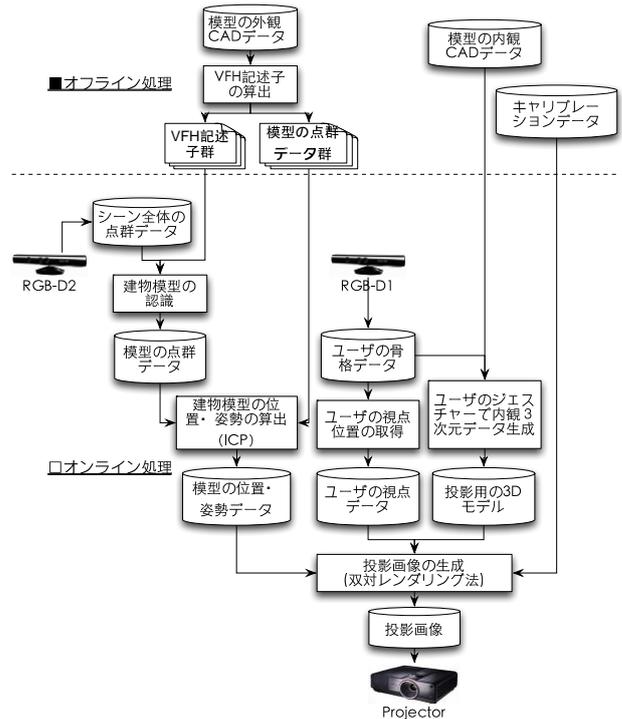


図 2 システムの動作

- ① RGB-D1 カメラ座標系からプロジェクタ座標系への変換行列

$$E_{c1 \rightarrow p} = [R_{c1 \rightarrow p} | T_{c1 \rightarrow p}] \quad (1)$$

- ② RGB-D2 カメラ座標系からプロジェクタ座標系への変換行列

$$E_{c2 \rightarrow p} = [R_{c2 \rightarrow p} | T_{c2 \rightarrow p}] \quad (2)$$

- ③ プロジェクタの内部パラメータ

2. VFH 特徴量群の算出

事前に準備した建物のCAD模型を用いて、模型の中心から一定な半径の半球面に15度ずつトレーニング用の仮想視点を設置し、各仮想視点から模型の中心への視線で計162個の深度画像を取得する[8]。これらの深度画像を利用して、CAD模型のVFH特徴量記述子[9]群を算出する。

3. 視点位置の取得

RGB-Dカメラで取得した奥行き(D)データを用いて、ユーザの三次元骨格データを取得する。本システムは、この骨格データの頭部の三次元位置をユーザの視点位置とする。

4. 建物模型の三次元位置・姿勢の算出

RGB-D2カメラで計測したシーンの奥行きデータとカメラパラメータを用いて三次元点群データに変換する。この点群データを物体ごとに分割し、分割された部分的な点群の中から建物模型の点群を検出する。事前に用意した建物模型の三次元点群データを用いて、ICPアルゴリズムにより物体座標系からRGB-D2カメラ座標系への変換行列を求める。具

体的な処理手順については第4節で述べる。

5. 投影する仮想物体の三次元モデル
建物の特性を考える上で、モデルのCGデータを外観、階、部屋、部屋内部の四階層に分類し、木構造で管理する。投影用の三次元モデルを生成する際には、身振りやキーボード操作を用いて観察したい階層を切り替える。
6. 投影画像の生成
双対レンダリング法[10]を用いて、建物模型上に投影する画像を生成する。双対レンダリングを行う場合に必要な、同じ座標系でユーザの視点位置、プロジェクタと投影対象の三次元位置と姿勢情報は、事前キャリブレーションの結果とRGB-Dカメラで取得した三次元情報を用いて算出する。具体的な取組については、第4節で述べる。
7. 投影処理
プロジェクタを用いて、6で生成した投影画像をジオラマの表面に投影することで、建物の外観と内観情報をユーザに提示する。

4. 投影画像の生成

本システムでは、投影画像を生成するため、双対レンダリング法を利用する。双対レンダリングとは、投影変換の逆変換となるように透視変換を行うことにより投影画像の歪みを補正する手法である。処理の流れを図3に示す。

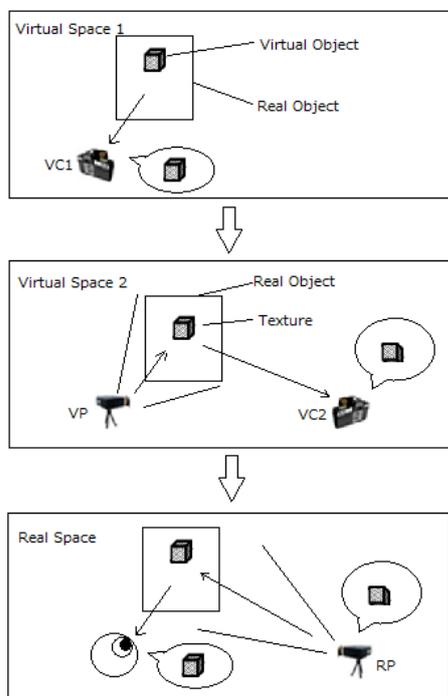


図3 双対レンダリング法

まず、ユーザの視点位置に仮想カメラ (VC1) を設置し、そこからの見え方をレンダリングする。レンダリング画像をテクスチャとして、投影対象の三次元モデル (Virtual Screen: 本システムでは建物模型) に対して、

CG空間 (Virtual Space1) 内でテクスチャマッピングを行う。次に、別のCG空間 (Virtual Space2) 内で、プロジェクタの位置に仮想カメラ (VC2) を設置し、VC2から観察される画像をレンダリングする。最後に実空間 (Real Space) において、VC2から得られた画像を投影することにより、ユーザの視点位置に対応した投影処理を実現する。

双対レンダリングを利用する場合、ユーザの視点位置、プロジェクタの位置姿勢、また投影対象の位置・姿勢の情報が必要である。本研究では、プロジェクタ座標系を世界座標系として、各々の三次元情報を獲得する。

4.1 ユーザの視点位置

RGB-Dカメラで取得した骨格情報を利用して、RGB-D1カメラ座標系の中にユーザの視点位置をリアルタイムに取得する。前もって行ったキャリブレーションの結果よりRGB-D1カメラ座標系からプロジェクタ座標系への変換行列(式(1))は既知である。この変換行列を利用して、ユーザ視点位置を世界座標系に変換する。

4.2 建物模型の三次元位置・姿勢の算出

建物模型の三次元位置・姿勢の算出に関しては、模型の認識処理と位置・姿勢の推定処理の二つの処理が必要である。これらの処理は、オープンソースソフトウェアのPCL(Point Cloud Library) [11]を用いて行う。

4.2.1 建物模型の認識

建物模型の認識処理はオフライン/オンライン処理に分類される。

オフライン処理とは、3章で述べたVFH特徴量群の算出処理である。建物の外観CAD模型を用いて162個のVFH特徴量記述子を算出する。

オンライン処理では、RGB-Dカメラで取得したシーンの点群データにおいて、まずPCLのクラスタリング機能を用いて、シーン全体を幾つかの部分領域に分割する。そして、領域ごとにVFH特徴量記述子を算出し、事前に算出しておいたVFH特徴量記述子群と比較することで、最も類似した場合の仮想視点位置を V_c 、CAD模型の点群を M_{cad} 、シーンから分割された点群を M_{real} に保存する。

4.2.2 建物の位置・姿勢の推定

本研究では、高精度の位置合わせの手法として、入力として与えられる二つの点群の位置合わせを自動で行うICP(Iterative Closest Point)アルゴリズムを用いる。一方の点群を構成する各点に対し、他方の点群における最近傍点を探索し、これらを仮の対応点とする。このような対応点間の距離を最小化するような剛体変換を推定する。この対応点探索、剛体変換推定を繰り返すことで、二つの点群を位置合わせする運動を推定する。

ICPアルゴリズムを利用することにより、 M_{cad} から

M_{real} への変換行列 $E_{cad \rightarrow real}$ を求めることが可能である。仮想視点位置 V_c を座標系の中心とした場合、CAD の位置姿勢変換行列は既知のため、 $E_{cad \rightarrow real}$ を乗じた結果は、RGB-D2 カメラ座標系の中に建物模型の位置姿勢変換行列であるので、キャリブレーションの結果(式(2))を利用して、世界座標系に建物模型の位置・姿勢を算出できる。

5. 提案手法の実装

実空間の模型の三次元位置と姿勢を固定した状態で、図4に示すように、ユーザの姿勢・動作に応じて、インタラクティブに建物の構造を投影するシステムを実装した。画像の生成用のサーバとして、Intel Core i7-3770 3.4GHz の MPU と 16 GB のメモリを搭載したパソコンを使用した。生成された画像は、Panasonic の TH-LB20NT (パネル画素数 1024x768) を使用して提示した。結果は、平均で 20 ルレーム/秒 (Intel Core i7-3770 3.4GHz 16.0GBRAM) を実現できており、ストレスのない観察が可能である。

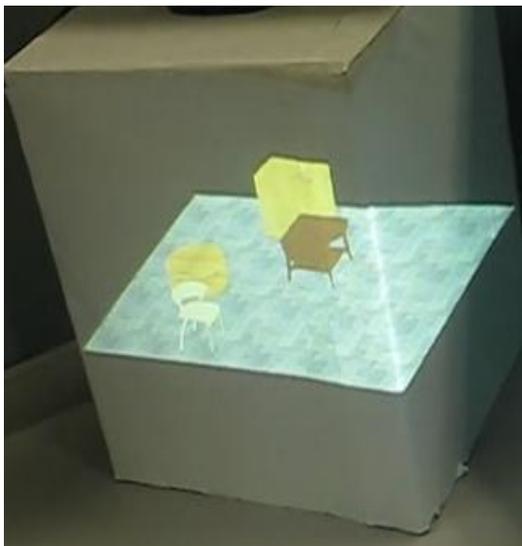


図 4 提案システムの実装

6. まとめと今後の課題

本稿では、複合現実感を用いてユーザの視点位置とジオラマの姿勢・位置に応じて、適切な見え方の映像を生成し、ビデオプロジェクタを用いて建物模型に投影することにより、建物の外観と内観を観察可能なシステムを提案した。今後の課題は、本システムの評価実験を行い、システムの有効性を検討する。

参考文献

- [1] 家崎明子, 杣田明弘, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激による触印象への影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.2, pp129-139 (2008)
 - [2] H. Tamura, H. Yamamoto and A. Katayama: "Mixed reality: Future dreams seen at the border between real and virtual worlds," *ibid*, Vol. 21, No. 6, pp. 64 - 70, 2001.
 - [3] C. E. Hughes and C. B. Stapleton: "Mixed reality in education entertainment, and training," in [2], pp. 24 - 30, 2005.
 - [4] 中原守勇, 北原格, 大田友一, "複合現実感における視覚と触覚の融合効果を利用した物体形状提示に関する実験的検討", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.1, pp.25-36, (2008)
 - [5] 大島登志一, 山本裕之, 田村秀行: "実体触知機能を重視した複合現実感システム — 自動車インテリア・デザイン検証への応用 —," 日本 VR 学会論文誌, Vol. 9, No. 1, pp. 79 - 87, 2004.
 - [6] Ryan Bane, Tobias Höllerer: "Interactive Tools for Virtual X-ray vision in Mobile Augmented Reality", Mixed and Augmented Reality, 2004. ISMAR 2004. Third IEEE and ACM International Symposium on
 - [7] 津田 崇博, 山本 治由, 亀田 能成, 大田 友一: "死角を透視表示する屋外型複合現実感システムにおける提示手法の比較検討", Technical report of IEICE. Multimedia and virtual environment 105(256), 41-47, 2005-08-25
 - [8] 小島 他: "頭部搭載型プロジェクタによる直方体スクリーンへの画像投影法", 2010 年電子情報通信学会総合大会, No.D-11-105, Mar.2010
 - [9] R. Rusu, G. Bradski, R. Thibaux, and J. Hsu, "Fast 3D recognition and pose using the viewpoint feature histogram," in Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010.
 - [10] A. Aldoma, R.B. Rusu and M. Vincze. "0-Order Affordances through CAD-Model Recognition and 6DOF Pose Estimation ", Active Semantic Perception and Object Search in the Real World (ASP-AVS-11), San Francisco, 2011
 - [11] 近藤 大祐, 後藤 敏之, 河野 誠, 木島 竜吾, 高橋 優三: "自由曲面への投影を用いたバーチャル解剖模型", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, pp.201-208, 2005-06-30, 日本バーチャルリアリティ学会
- R. B. Rusu and S. Cousins, "3D is here: Point Cloud Library (PCL)," in *icra*, (Shanghai, China), May 2011.