



系統的データ取得が可能な隠消現実感実験用スタジオ

Experimental Studio for Diminished Reality: Enabling Systematic Data Acquisition

江口 裕也, 森 尚平, 柴田 史久, 木村 朝子, 田村 秀行
Yuya Eguchi, Shohei Mori, Fumihisa Shibata, Asako Kimura, and Hideyuki Tamura

立命館大学大学院 情報理工学研究科
(〒525-0072 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要: 現実世界に存在する物体 (除去対象) を視覚的に隠蔽・消去・透過させる隠消現実感 (Diminished Reality; DR) は, 体験者視点から除去対象によって隠される光景を観測し, 観測結果を体験者視点に変換及び投影することで実現する. しかし, この過程において幾何学的・光学的・時間的不整合が発生し得るため, 完全な視覚的除去は困難を極める. そこで, 本論文では, これら発生要因への還元を可能にする隠消現実感用の実験スタジオを設計・構築した. 具体的には, 隠消現実感において既知の情報を得るため, 高精度なエンコーダを備えたカメラ位置姿勢計測用のロボットアーム, 調光装置, 配置を変更できる実寸大及びミニチュアセットの導入を行った. 最後に, このスタジオにて画像シーケンスを撮影した結果に関して考察した.

キーワード: 隠消現実感, 複合現実感, 幾何学的整合性, 光学的整合性

1. はじめに

Diminished Reality (DR) は, 実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透過させる技術であり, 現実世界に情報を追加する複合現実感 (Mixed Reality; MR) とは逆の概念である. 我々は, この MR の発展的技術分野に対して「隠消 (いんしょう) 現実感」という日本語を充て, 従来研究の調査と体系的な整理を行った[1].

隠消現実感とは, 体験者視点から除去対象によって隠される光景 (隠背景) を観測し, 観測結果をモデルに則して体験者視点に変換及び投影することで実現する. しかし, この過程において幾何学的・光学的・時間的不整合が発生し得るため, 完全な視覚的除去は困難を極める. 特に幾何学的不整合に関しては, 隠消現実感のスーパーセットである MR においても現段階で活発に研究されている問題であり, 当然, 隠消現実感において求められる精度に達するには未だ未成熟であると言わざるを得ない. そのため, その先にある光学的不整合への問題解決に焦点を当てる研究が少ないのが現状である.

また, これら不整合の発生要因は同時発生及び互いに関与しており, 最終的に得られる除去結果のみでの要因の特定は容易ではない. さらに, 隠消現実感の除去結果を評価するすべも体系的に整理されておらず, 本研究分野において種々の研究結果と自らのそれを比較する方法は事実上存在しない.

隠消現実感分野に限らず, 他分野でも, こうした問題分析及び解決に努める研究が存在する. これらは主に, 真値 (グラウンドトゥルース) 及び評価指針を提供するものである. Computational Stereo の分野では, ステレオ画像デ

ータセットと視差画像の真値を提供する Tsukuba Stereo Pair [2]や, Computer Graphics (CG) を用いて Tsukuba Stereo Pair を画像シーケンス化及び各フレームでのカメラ位置姿勢の提供を行う New Tsukuba Stereo [3] が知られている. 拡張現実感 (Augmented Reality; AR) 分野や MR 分野におけるカメラ位置姿勢推定問題のための画像シーケンスデータセット及びそのカメラ位置姿勢の参照値の提供, そして評価指針策定を目指す Benchmark Test Schemes for AR/MR Geometric Registration and Tracking Methods (TrakMark) [4] も存在している.

このように, 活発に研究が行われる分野では, 実験結果の分析及び評価のためのデータセットの提供や評価指針の提示が重要な役割を担っている. そこで, 本論文では, こうした先行研究に倣い, 隠消現実感の分野に必要とされるデータセットの作成を目標に, 隠消現実感実験用スタジオを設計・構築した. 具体的には, 参照値として利用可能な程高精度にカメラ位置姿勢の計測が可能な産業用ロボットアーム, 位置変更や調光可能な照明装置, 様々なシナリオを想定した撮影を可能にする撮影セットを導入した.

2. 要求分析

本章では, 本実験用スタジオを実現するために, その要求分析を行う. 特に, 実験用セットのスケール, カメラの位置姿勢計測及び制御方法, 照明の制御方法, 実験用シーンの 4 点に関して詳述する.

2.1 実験用セットのスケール

隠消現実感では, Head-Mounted Display (HMD) を装



図1 隠消現実感実験用スタジオとレイアウト変更例
(上段：実寸大セット，下段：ミニチュアセット)

着した体験者を想定している。そのため、本実験スタジオでも、HMD を装着した体験者が動き回ることが可能な、実寸大の環境が必要になる。しかし、屋外での利用を想定する場合、体験者の移動範囲が広がることや、照明環境が変化しやすいことから、高精度な HMD の位置姿勢計測がより困難になる。よって、こうしたトラックの制約に捕われない室内では、屋外を模したミニチュアのほうがよい。

2.2 カメラの位置姿勢計測及び制御方法

我々の知る限り、これまでの隠消現実感の研究は、主に以下の様な前提を設けているものがほとんどである。

- ・ 隠背景が幾何的に複雑だが、カメラ位置姿勢は固定もしくは一部固定であるとする
- ・ カメラは自由移動可能だが、隠背景は平面や平面の単純な組み合わせで表現できるものとする

本来ならば、カメラは自由移動可能で隠背景の幾何形状が単純なシーンであろうと複雑なシーンであろうと研究対象とされるべきである。しかし、このように隠背景の幾何的な複雑さとカメラの自由度が相反するのは、一意に、カメラ位置姿勢の計測精度が隠消現実感において求められるそれに達していない点にある。そこで、本実験スタジオでは、ミリメートル単位で計測可能な光学式センサを用いる様な、従来のカメラ位置姿勢計測方法よりも高精度に計測できることが望ましい。

また、隠消現実感における結果の評価基準ははっきりしない問題は、Tsukuba や TrakMark が対象としている問題と同じ流儀で生じる。具体的には、真値を得る必要があり、前者における視差画像の、後者におけるカメラ位置姿勢の真値を得ることに相当する。隠消現実感の場合は「除去対象の写る入力画像を用いた除去対象の除去結果画像」と「それと同じカメラ位置姿勢で撮影された除去対象が写っていない画像」があれば、これらの組の比較によって評価が可能であるという考えから、後者が真値に当たる。また、この組が隠消現実感体験時に画像シーケンスとして得られることが望ましい。これはつまり、あるシーンにおいて除去対象の有無の違いがある 2 つの画像シーケンスを同じカメラパスで撮影する問題に帰着する。

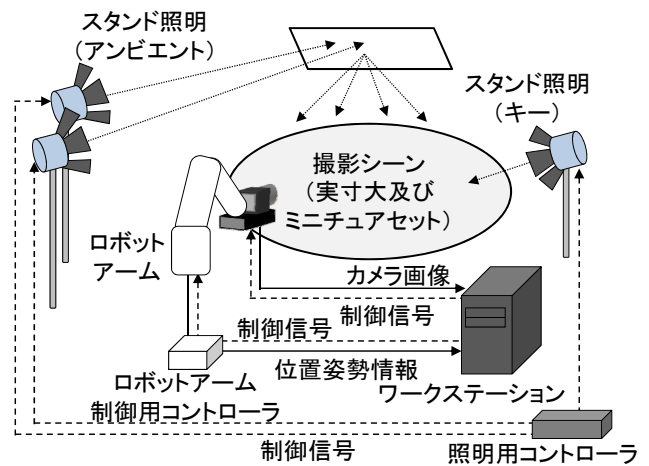


図2 隠消現実感実験用スタジオ構成図

2.3 照明の制御方法

照明の位置や強度は計測可能もしくは既知であり、かつ再現性があることが望ましい。また、ミニチュアセットでは、屋外の照明環境をまねる必要がある。複数シーケンスの撮影時に照明変化がない場合を想定すれば、照明位置や強度を一定に保つ仕組みが必要である。

2.4 実験用シーン

隠消現実感においては、対象シーンの隠背景の幾何的な複雑さが、その結果を大きく左右する要因であるのは先述の通りである。様々なシーンでの実験を可能にするため、セットの一部は自由に組み替えや取り替え可能であることが望ましい。

3. 実験スタジオの構築

図1は前章で述べた要求分析を基に構築した実験用スタジオである。図2は、実験スタジオの構成図である。以下に導入機材やセットに関して詳述する。

3.1 実寸大及びミニチュアセットの仕様

2.1節で述べたように、屋内外の環境を再現するため、体験者が体験可能な屋内スペースを実寸大セットで、屋外での体験を模すためミニチュアセットを構築した。

実寸大セットは縦横 5 [m] × 5 [m] の床面、高さ 2.6 [m] の壁 2 面で構成された洋室のセットである。近年多く見られる特徴点を用いるビジョンベースのカメラ位置姿勢推定法を利用することができるよう、特徴点が生じやすい絵や壁紙で壁を構成した。ここでは、テーブルやプランタ、絵、絨毯等の小道具の置き換えを可能にし、シーンのバリエーションを増やせるよう工夫した(図1上段)。また、左手の壁にある飾り棚は開閉が可能で、シーンの幾何形状を複雑にしたり簡素にしたりできる。

一方、2 [m] × 2 [m] のミニチュアセット (1/12 スケール) では、ビル、ビルのガラス窓を模したアクリル面、床面、植え込み、街灯等、全て取り外しや組み直しが可能である。(図1下段) このように、組み替え可能な小道具を多く導入することにより、実寸大セットと同様に、2.4節で述べた要求を満たすことができる。

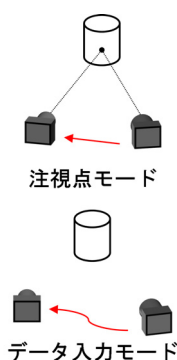


図3 カメラ制御モード

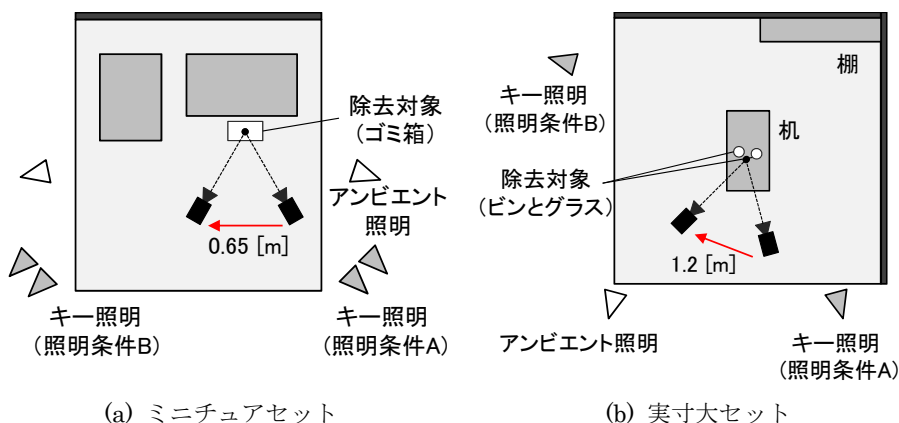


図4 ミニチュアセットと実寸大セットでの撮影条件

3.2 カメラ位置姿勢計測と制御

2.2 節で述べた要求を満たすよう、デンソーウェーブ社製ロボットアームの VS-087 を導入した。これは高精度なエンコーダを備えているため、1/100 [mm] 単位の精度で制御及び先端（フランジ面）に取り付けたカメラの位置姿勢を取得可能である。ロボットアームへの入出力はワークステーションと LAN を介して行う（図 2）。ワークステーションの構成は、CPU: Intel Core i7 2700K (3.50GHz), RAM: 8GB, GPU: NVIDIA GeForce GTX 590 である。

ロボットアームの制御は、任意の点における位置姿勢 T ($T=[R|t]$, ただし、 R は回転行列, t は並進ベクトル) を指定することで行う。複数の点を指定した場合、ロボットアームは各点間を補間するように移動するが、ロボットアームの駆動系（サーボモータ）の駆動時に慣性が働くため、その間の位置姿勢は基本的に未知である。そのため、本論文では撮影地点での各位置姿勢 T_k ($0 \leq k \leq N$) を入力とし、静止画像での撮影を繰り返すことで、疑似的に動画像を取得する。こうすることで、各フレームでのカメラ位置姿勢をより精確に取得する。

また、ロボットアームの制御方法には、制御を簡単にするため、注目点モード、データ入力モードの 2 つのモードを用意した（図 3）。尚、ミニチュアセットでは、実寸値を 1/12 スケール換算で変換して下記の 2 つのモードでの計算を行う。

【注目点モード】 隠消現実感での具体的なシナリオを想定した動画像撮影を考慮すれば、3次元空間上で任意のカメラ位置姿勢を指定できるだけでなく、除去対象を中心に移動させたり、隠背景の観測のために任意の位置を中心に移動させたり、といったカメラ位置姿勢の指定方法が必要な場合があると考えられる。よって、本モードでは DirectX や OpenGL といった 3D CG 描画用 API にて一般に用いられているカメラ位置姿勢の計算方法を参考にして、各フレームでのカメラ位置、注目点位置、カメラの上方向のベクトルを入力することでカメラ位置姿勢行列を計算する方法を採用する。

【データ入力モード】 体験者の動きを位置姿勢取得用センサで計測して、それを入力値として実寸大セットで利用したい場合や、実寸大セットで計測した結果をミニチュアセ

ットで用いるという場合も考えられる。そこで、本モードでは位置姿勢計測用センサやカメラ位置姿勢推定法により事前に計算、推定した値を入力値としてロボットアームに与える。

上記 2 つのモードでは、ロボットアームの移動可能範囲 d_{\max} 外の値が入力される可能性がある。特にデータ入力モードでは、位置姿勢取得用センサにおける外乱の影響や推定したカメラ位置姿勢の破綻値が入力されることが原因で、これが発生しやすいと考えられる。そのため、 T_i 中でその範囲外 ($|t_i| > d_{\max}$) にあるものは、 $t'_i = d_{\max} t_i / |t_i|$ として修正し、フレーム番号とともに出力する。

ここまで述べてきたロボットアームの制御は、カメラの制御と同期させる必要がある。そこで、LAN を介してワークステーションから画像取得、露光時間等を制御可能なカメラである PointGrey 社製 Flea3 GigE を導入した。尚、カメラから取得した画像 I_i のノイズを軽減するため、同じ位置姿勢で撮影した複数毎の画像の平均値をとる。そのため、 M フレーム取得する間、ロボットアームを $(M/f+e)$ [sec] 間静止させる必要がある。ただし、 e は任意で与える待ち時間、 f はフレームレートである。

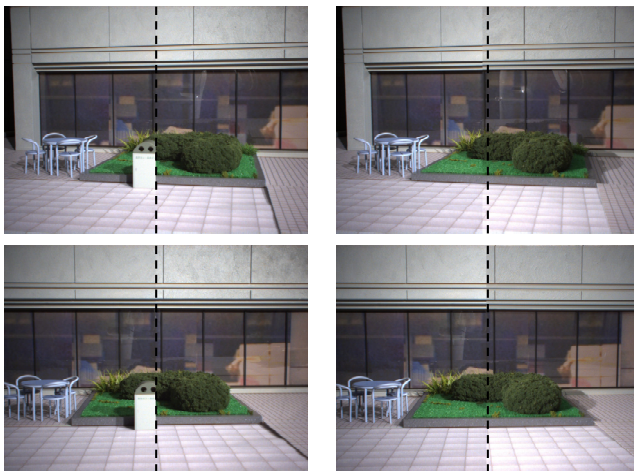
3.3 照明の設置と制御方法

照明装置は、室内を想定した実寸大セット、屋外を想定したミニチュアセットの両方においても、1つのキー照明と複数台のアンビエント照明によって構成する。

実寸大セットでは、東芝ライテック社製のスタンド照明 AL-DPD-6J (270 [W]) を 3 基用い、照度を調光装置によって手動で制御する。その内の 1 基の照度を他より上げることで、これをキー照明とする。ミニチュアセットでは、ARRI 社製のスタンド照明 650 PLUS (650 [W]) を 4 基用い、その内の 1 基をキー照明とし、他を壁や天井に当てる等して間接的に照明を付与する。照度は照明の前にフィルタを置くことで制御する。

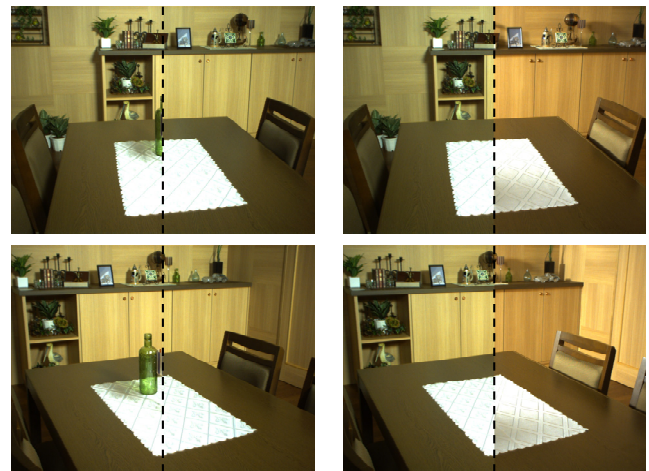
4. テスト運用

実際に設計・構築した隠消現実感実験用スタジオにおいて隠消現実感実験用の画像シーケンスを複数パターン撮影し（図 4）、それら撮影した画像シーケンスに関して考察する。



(a) 除去対象の有無 (左:あり, 右:なし) (b) 照明条件の変更 (左:照明条件 A, 右: B)

図5 ミニチュアセットでの撮影結果 (上段 100 フレーム目, 下段: 200 フレーム目)



(a) 除去対象の有無 (左:あり, 右:なし) (b) 照明条件の変更 (左:照明条件 A, 右: B)

図6 実寸大セットでの撮影結果 (上段 50 フレーム目, 下段: 200 フレーム目)

4.1 撮影シナリオと機器設定

ミニチュアセット及び実寸大セットでの撮影条件を図4に示す。ミニチュアセットでの撮影は、ゴミ箱を除去対象とし、HMDを装着した身長170 [cm]の体験者が図に示した位置にある除去対象付近を注視しながら6 [m/s]の速度で約7.8 [m]直線移動するというシナリオを設定する。実際の入力値には、これらをミニチュアセットのスケール(1/12)に合わせて計算したものをを用いる。

実寸大セットでの撮影は、ビンとグラスを除去対象とし、ミニチュアセットでの設定と同様に体験者が約1.2 [m]直線移動するというシナリオを設定する。

両撮影でのカメラの解像度は1280 × 960 [px]、レンズはミュートロン社製FV0622 (水平画角: 40.5 [度]、焦点距離: 6.5 [mm])を用いる。また、 d_{max} をロボットアームの可動範囲である0.91 [m]、待機時間 e を1.0 [sec]に設定する。カメラの制御モードは注視点モードであり、常に除去対象の方向を向くように設定する。照明は、ミニチュアセットでは2基を、実寸大セットでは1基をキー照明用、2基をアンビエント照明用に点灯する。キー照明をセット右手に置く照明条件Aとキー照明をセットの左手に置く照明条件Bとして撮影を行う。

4.2 撮影結果

4.1節で示したシナリオで撮影したミニチュア及び実寸大セットでの画像シーケンスを図5と図6にそれぞれ示す。

図5(a)及び図6(a)は、照明条件Aで撮影した。各画像の左が除去対象を置いて撮影した結果、右が除去対象を置かずに撮影した結果を合わせたものである。これらの結果から、同じ照明条件において、位置ずれ、画質ずれなく同じカメラパスでの撮影が本スタジオで可能であることが分かる。

図5(b)及び図6(b)は、各画像の左が照明条件Aでの撮影結果、右が照明条件Bでの撮影結果である。この結果から、複数の照明条件において同じカメラパスでの撮影が可能であることが分かる。

5. むすび

本論文では、先行研究[2-4]に倣い、隠消現実感分野に必要とされるデータセットの作成を目標とした、隠消現実感実験用スタジオを設計・構築した。具体的には、参照値として利用可能な程高精度にカメラ位置姿勢の計測が可能な産業用ロボットアームを導入し、隠消現実感実験用画像シーケンスの撮影方法を提案した。また、位置変更や調光可能な照明装置を導入し、上記の撮影方法と組み合わせて、照明条件のみを変化させた画像シーケンスを作成した。これらの撮影を様々なシナリオで実現するために、隠消現実感の屋内及び屋外体験を想定した、実寸大及びミニチュアセットを設計・構築した。

今後は、実験スタジオを用いて作成したデータセットを用いた隠消現実感の評価指針を立てる。また、それにより、隠消現実感の新手法の開発に努める。

謝辞 本スタジオの建設にご協力を頂いた東映(株)京都撮影所次長 竹村寧人氏、ミニチュアの照明に関する助言を頂いた映画撮影監督 坂本誠吾氏に感謝する。本研究の一部は、科研費・基盤研究(S)「複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化」による。

参考文献

- [1] 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みと諸問題～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VR学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 239 - 250, 2011.
- [2] Y. Nakamura, T. Matsuura, K. Satoh, and Y. Ohta: “Occlusion detectable stereo - occlusion patterns in camera matrix,” Proc. CVPR, pp. 371 - 378, 1996.
- [3] S. Martull, M. P. Martorell, and K. Fukui: “Realistic CG stereo image dataset with ground truth disparity maps,” Proc. the 3rd Int. Workshop on Benchmark Test Scheme for AR/MR Geometric Registration and Tracking Method (TrakMark2012), pp. 6 - 9, 2012.
- [4] F. Shibata, S. Ikeda, T. Kurata, H. Uchiyama, and the TrakMark WG: “An intermediate report of TrakMark WG,” Proc. ISMAR, pp. 298 - 302, 2010.