

隠消現実感のための隠背景画像再構成への Light Field Rendering の利用

中西 雄大^{†1} 柳田 晃平^{†2} 森 尚平^{†2} 柴田 史久^{†1} 木村 朝子^{†1} 田村 秀行^{†3}
立命館大学 情報理工学部^{†1} 同大学院情報理工学研究科^{†2} 同総合科学技術研究機構^{†3}

1. はじめに

隠消現実感 (Diminished Reality; DR) は現実空間の物体を視覚的に隠蔽・消去・透過させる技術である [1]. DR は, 除去対象によって体験者視点から隠される光景 (隠背景) を隠背景観測用カメラで観測・復元し, 体験者視点から見た除去対象領域に投影 (隠背景画像を重畳描画) することで実現できる. しかし, 隠背景の幾何形状が複雑な場合, その復元が困難であり, 復元精度に依存して重畳箇所が目立つ. そこで, 本稿では Image-based Rendering (IBR) の手法の一つであり, 対象シーンの幾何形状の復元が不要な Light Field Rendering (LFR) [2] を利用することで, 幾何形状が複雑な背景の前に置かれた除去対象の効果的な視覚的除去を実現する.

2. 隠消現実感

2.1. 関連研究

これまでの DR 研究では, 隠背景は単純な幾何形状で構成されていると仮定するものや, 既知の幾何形状を想定するもののみであった. Zokai ら [3] は工場内のパイプを除去して見せるために複数台のカメラを利用した. ここでは, 隠背景が細かな平面の組み合わせによって構成されていると仮定して復元している. Cosco ら [4] は, IBR を利用して机上の力覚デバイスを除去して見せるために, 数面で構成された既知の幾何形状を利用した.

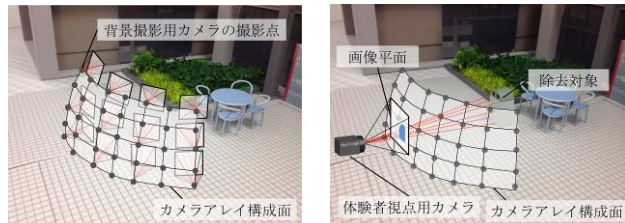
このような仮定を設けるのは, 隠背景の幾何形状が複雑な場合, その復元精度が不十分なため隠背景画像が歪んで見える等, 除去対象領域が目立ってしまうためである. しかし, DR のより幅広い応用を考えれば, 隠背景画像をより正確に再構成する問題は不可避である. そこで, 本論文では対象の幾何形状を復元することなく自由視点画像を生成可能な LFR を用いることにより, こうした問題の解決を図る.

2.2. DR への LFR の利用

LFR は, 複数台のカメラによって構成されるカメラアレイを用いて対象シーンを撮影し, 4D plenoptic function により記録することで, 任意視点での画像を生成する手法である [2]. より具体的には, カメラアレイで構成される平面 (uv 平面) での位置 (u, v) , そこから法線方向に焦点距離だけ離れた画像平面 (st 平面) での位置 (s, t) , そしてその画素値を記録しておき, 任意視点画像を生成する際には, カメラ位置姿勢と内部パラメータから求まる (u, v, s, t) により画素値 \mathbf{p} を取得する (式 (1)).

$$\mathbf{p} = F(u, v, s, t) \quad (1)$$

つまり, DR において LFR を用いれば, (u, v, s, t) から任意視点での隠背景画像を再構成することができる. よって, 背景の幾何形状を復元することなく, 除去対象の視覚的除去が実現できる.



(a) 事前処理 (b) 本処理

図 1 提案手法のイメージ図

3. 提案手法

3.1. 手法の概要

本手法では自由視点で移動する体験者の光景から除去対象を視覚的に除去する. カメラ位置姿勢はセンサを用いて得られ, 光線の記述に必要なカメラの内部パラメータはカメラ校正により既知であるとする.

本手法は, 隠背景を観測し光線空間を記録する事前処理とこれを利用して除去対象を視覚的に除去する本処理に分かれる (図 1). 処理手順は次の通りである.

[事前処理] 背景画像群とカメラ位置姿勢の取得

[本処理 (a)] 除去対象領域 I_{MASK} の生成

[本処理 (b)] LFR を用いた隠背景画像 I_{DR} の再構成

尚, LFR を利用するため, カメラアレイによるシーンの撮影時と DR 体験時でシーンの幾何形状や照明条件は変化しないものとする.

3.2. 事前処理

事前処理では, 現実空間の除去対象を物理的に取り除いて, 隠背景の生成に用いる画像群 $I_{\text{DS}, i} (0 \leq i \leq N - 1)$ の撮影及び撮影地点でのカメラ位置姿勢 $\mathbf{M}_{\text{DS}, i}$ の取得を行う. この画像群の撮影にはカメラアレイを用いる.

LFR では, 事前処理でのカメラアレイの構成により, 体験者の移動可能範囲や再構成の精度が異なる. そのため, カメラアレイの構成についての検討がなされている [5]. 本論文では [5] に倣い, 光線情報の可視化を行った (図 2). DR では, 通常の LFR とは異なり任意視点での視野角の全ての画像を復元する必要はない. これは, 除去対象を通過する領域 (除去対象領域) の光線のみが必要だからである.

図 2 では, 記録した光線の内, 除去対象領域を通過する光線とそうでない光線とを色の濃淡により表した. この図より, 除去対象を中心とした円弧上にカメラを配置した方 (図 2 (b)) が直線上に配置する (図 2 (a)) よりも体験者の移動可能範囲が広いことが分かる. よって, 本手法では, 除去対象を中心とした球面上にカメラアレイを構成することで, 画像 $I_{\text{DS}, i} (0 \leq i \leq N - 1)$ 及びカメラ位置姿勢 $\mathbf{M}_{\text{DS}, i}$ を取得してデータセットに登録する.

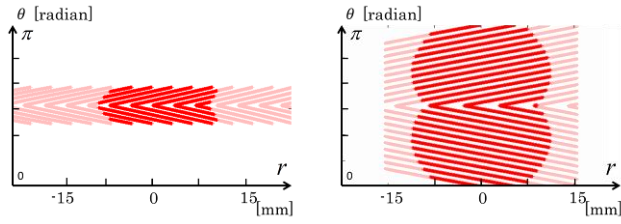
本手法における隠背景の復元精度は背景撮影用カメラの間隔に依存する. そのため, 隠背景画像の復元精度を向上させるためには, 間隔を密にする必要がある.

Using Light Field Rendering for Hidden Area Image Reconstruction in Diminished Reality

^{†1} College of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

^{†2} Graduate School of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

^{†3} Research Organization of Sci. and Tech., Ritsumeikan University



■ : 背景撮影時に得られる光線情報 ■ : 除去対象領域を通過する光線情報
 (a) 直線上にカメラを配置 (b) 除去対象を中心とした円弧上にカメラを配置

図 2 光線情報の分布

3.3. 本処理

[本処理 (a)] 本処理では、位置姿勢取得用センサを用いて DR 体験時のカメラ位置姿勢 \mathbf{M} を取得する。これと事前に用意した除去対象の幾何モデルから除去対象領域 \mathbf{A} を決定するマスク画像 $\mathbf{I}_{\text{MASK}}(x, y)$ を生成する (式 (2))。

$$\text{If } \mathbf{I}_{\text{MASK}}(x, y) = 0, \mathbf{I}_{\text{MASK}}(x, y) \in \mathbf{A}, \text{ else } \mathbf{I}_{\text{MASK}}(x, y) \notin \mathbf{A} \quad (2)$$

ただし、 (x, y) は画像座標系における位置を表す。

[本処理 (b)] 次に LFR を用いて除去対象領域に重畳するための隠背景画像 $\mathbf{I}_{\text{DR}}(x, y)$ の再構成を行う。 $\mathbf{I}_{\text{DR}}(x, y)$ を再構成する領域は除去対象によって隠される部分で十分なため、除去対象領域 ($\mathbf{I}_{\text{MASK}}(x, y) = 0$) を通過する光線のみを対象に、 uv 平面及び st 平面での交点 (u, v, s, t) を求める。

まず、光線の位置及び方向ベクトル $\mathbf{v}_{\text{pos}}, \mathbf{v}_{\text{dir}}$ と除去対象を中心とした球面の方程式から (u, v) を求め、その最近傍の $\mathbf{I}_{\text{DS}, i}$ を決定する。 $\mathbf{v}_{\text{pos}}, \mathbf{v}_{\text{dir}}$ は $\mathbf{M} (= [\mathbf{R}|\mathbf{t}])$ と (x, y) から次のように記述できる (式 (3, 4))。

$$\mathbf{v}_{\text{pos}} = \mathbf{t} \quad (3)$$

$$\mathbf{v}_{\text{dir}} = \mathbf{R}\mathbf{v}, \text{ where } \mathbf{v} = [x, y, f]^T \quad (4)$$

ただし、 f はカメラの内部パラメータの焦点距離を表す。次に、 \mathbf{v}_{dir} と $\mathbf{M}_{\text{DS}, i}$ から (s, t) を求め、 (s, t) の 4 近傍を用いてバイリニア補間を行い、 $\mathbf{I}_{\text{DR}}(x, y)$ を再構成する。最後に、生成した $\mathbf{I}_{\text{DR}}(x, y)$ を入力画像に重畳することで、除去対象を視覚的に除去する。

4. 実験

4.1. 実験内容

背景が複雑なシーンに置かれた除去対象を視覚的に除去する際に、本手法が有効に機能するかを確認するため、以下の実験を行った。複雑なシーンを構築するため、本実験では 1/12 スケールのミニチュアセットで行う (図 3 (a))。背景には、一般に幾何形状の復元が困難とされる植物を配置したり、視差が生じやすい机や椅子の模型を配置したりした。除去対象にはゴミ箱の模型を用い、その幾何モデルには除去対象を覆う直方体を用意した。

カメラアレイ及び DR 体験時のカメラには Point Grey 社製 Flea3 GigE (解像度: 1280×960 画素) を用いた。データセットと DR 体験時の画像とでカメラの光学系の違いによる問題が発生しないように、同型のカメラ及びレンズを用いた。事前処理及び本処理に用いる PC の構成は、OS: Windows 7, CPU: Core i7 4770K 3.5GHz, メモリ: 32GB である。

カメラアレイの構成は以下の通りである。各カメラは除去対象を置く位置を中心に、半径 400 [mm] (実寸で 4.8 [m]) に相当) の球面上に配置した。各カメラは 0.3° 間隔で、それぞれ 12°, 60° の範囲で配置した。つまり、

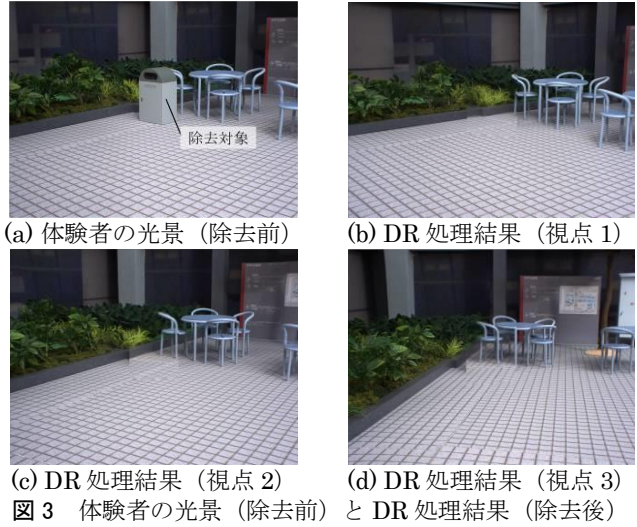


図 3 体験者の光景 (除去前) と DR 処理結果 (除去後)

8000 枚の画像群とそれぞれに対応するカメラ位置姿勢をデータセットとして記録した。

4.2. 実験結果と考察

除去結果を図 3 に示す。隠背景の幾何形状の複雑な場合でも、高精度な除去対象の視覚的除去ができていることが分かる。視点 1 と 3 とでは大きく視点位置が変化しているが、除去対象領域において隠背景中の椅子の脚や植木が再構成されている。

しかし、除去対象領域周辺で、椅子や植え込みが僅かに歪んでいる箇所がある。これは、カメラ校正時の内部パラメータの推定誤差が原因であると考えられる。任意視点での画像全体を再構成する LFR ではこのような問題は発生しないと考えられる。しかし、DR において LFR を利用し、DR 体験時視点での画像の一部を再構成した場合、実際の内部パラメータと推定値との誤差がこうした見た目のずれを発生させる。また、除去対象の影が除去できていないため、除去対象領域のエッジが目立ち、除去対象領域が浮いて見える印象を受ける。

LFR を用いた隠背景画像の再構成は、隠背景にスペキュラ反射が多く含まれる場合にも効果を発揮する。

5. むすび

本論文では、LFR を用いることで、隠背景の幾何形状が複雑な場合においても隠背景画像の再構成を高精度に実現する手法を提案した。本手法により、隠背景の幾何形状の復元が困難なシーンにおいても除去対象を視覚的に除去できることを確認した。今後は、照明条件が異なることにより発生する光学的不整合の解決に取り組む。

参考文献

- [1] 森 尚平 他: “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] M. Levoy, et al.: “Light field rendering,” Proc. SIGGRAPH 1996, pp. 31 - 42, 1996.
- [3] S. Zokai, et al.: “Multiview paraperspective projection model for diminished reality,” Proc. ISMAR 2003, pp. 217 - 226, 2003.
- [4] F. I. Cosco, et al.: “Visuo-haptic mixed reality with unobstructed tool-hand integration,” IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics., Vol. 19, No.1, pp. 159 - 172, 2013.
- [5] Z. Wang, et al.: “Sphere light field rendering,” Proc. SPIE 2002, Vol. 4681, pp. 357 - 365, 2002.