

仮想移動物体に対する MR 光学的整合実現の一手法

石橋 朋果^{†1} 森 尚平^{†2} 池田 聖^{†1} 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

複合現実感 (MR) において、実物体と仮想物体の光学的整合の実現は最重要課題の 1 つである。Image-Based Lighting (IBL) [1] はその効果的な実現方法の 1 つとして知られている。IBL は、実写の全周画像をその撮影地点への入射光の集合として、撮影地点に配置された仮想物体へ写実的な照明効果を与える方法である。本研究では、静的なシーンにおいて、この全周画像を高速かつ高精度に取得するため、View-Dependent Texture Mapping (VDTM) [2] に基づく手法を提案する。この手法により、移動する仮想物体に対しても高精度な MR 合成を可能であることを、実験を行って確認した (図 1)。

2. 関連研究

IBL を用いて仮想移動物体を MR 合成する場合、その描画位置で全周画像を逐次取得する必要がある。実時間性や全周画像の生成精度の面において、固定位置の仮想物体の MR 合成よりも実現が困難である。IBL を利用する際に必要となる全周もしくは全天周画像は、鏡面球や魚眼カメラを用いて直接取得したり [3]、実シーンの幾何形状と色情報を持つ 3 次元モデルを再構成した後に仮想的に取得したりできる [4]。

Rohmer ら [3] は、魚眼レンズ付きの High Dynamic Range (HDR) カメラを空間中に複数台配置し、各地点での全天周画像を実時間取得した。この場合、シーンの幾何データを用いることなく、逐次変化する実照明を IBL により仮想物体に付与できる。しかし、仮想物体が魚眼カメラ間に置かれた場合、その地点での全周画像は複数地点からの全天周画像で補間する必要がある。原理的には、より多くの魚眼カメラを配置すればよいが、物理的な制約からその台数は限定される。よって、空中に仮想物体が移動する場合等、カメラの配置位置によっては、全天周画像の生成が困難な場合が考えられる。

Meiland ら [4] の手法では、対象シーンを 3 次元再構築した後、その幾何データとキーフレームを利用して全周画像を取得する。この場合、高精度な幾何データが利用可能であり、仮想物体の設置位置に応じた幾何学的に正しい全周画像が取得可能となる。しかし、幾何データ及び画像の保存形式によっては実時間での全周画像生成が困難な場合や、固定テクスチャの利用によりシーンの反射特性が正しく仮想物体に反映されない場合がある。また、仮想移動物体の位置に応じてシーンの幾何データにマッピングする画像を切り替えると、仮想移動物体上でその切り替えが目立ってしまう場合がある。

そこで、本論文では、VDTM を利用して全周画像を実時間かつ高精度に取得する方法を実装し、本手法が仮想移動物体の MR 合成に対して有効であることを確認する。

3. 提案手法

3.1. 概要

提案手法は、シーンのテクスチャ付き 3 次元モデルを

“A Method of MR Photometric Consistency Focused on Moving Virtual Objects”

^{†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

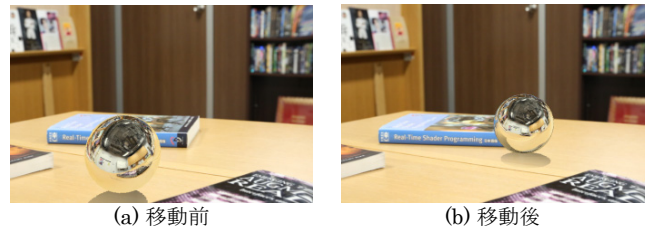


図 1 提案手法による仮想移動物体 (鏡面球) の MR 合成結果

取得する事前処理と、仮想移動物体を MR 合成する実行時処理で構成される (図 2)。

3.2. 事前処理

実行時処理にはシーンの幾何形状、視点依存画像 I_i 、光源位置 \mathbf{l}_j を用いるため、事前処理でこれらを取得する。これらの取得方法を特に限定する必要はないが、例として、以下の方法による処理手順が考えられる。

(A-1) 対象シーンの画像を撮影

視点依存画像 I_i ($1 \leq i \leq N$) は全周画像の基となるため、対象シーン全体が収まるように撮影する。

(A-2) I_i の撮影時の位置姿勢を計算

I_i を入力としたバンドル調整により計算する。

(A-3) I_i を用いて対象シーンの 3 次元幾何形状を取得

(A-2) も含め、Agisoft 社製 PhotoScan や Autodesk 社製 123D Catch 等の既存のソフトウェアが利用できる。

(A-4) 光源位置 \mathbf{p}_j^l を取得

ここまでで取得したテクスチャ付き 3 次元幾何形状を利用すれば、その色情報と対応する 3 次元位置から光源位置 \mathbf{p}_j^l ($1 \leq j \leq M$) を決定することができる。

3.3. 実行時処理

(B-1) VDTM を用いて対象シーンの全周画像を取得

3 次元幾何形状の頂点毎に事前処理で取得した視点依存画像をブレンディングし、全周画像を作り出すテクスチャを生成するため、視点依存画像の重み w を決定する。VDTM を実時間実行するため、Buehler ら [5] の手法を参考にした。よって、重み w は Angular, Resolution, Field of View (FoV) の 3 つの要素に分けて計算する。

Angular の重みには [2] と同様、視点依存画像の撮影位置 \mathbf{c}_i 、3 次元幾何形状の頂点 \mathbf{p}^V 、仮想物体の中心座標 \mathbf{c}_o の 3 点により得られる角度 θ_i を基に計算する (式 (i))。

$$w_{\text{ang}}(i) = \max(0.0, \theta_i) \quad (\text{i})$$

Resolution に関しては、 \mathbf{c}_i と \mathbf{p}^V 間の距離 d_i 、 \mathbf{c}_o と \mathbf{p}^V 間の距離 d_o との差を基に計算する (式 (ii))。

$$w_{\text{res}} = \begin{cases} 1.0 & ((d_o - d_i) < 0.0) \\ 1.0 - (d_o - d_i)/d_o & ((d_o - d_i) \geq 0.0) \end{cases} \quad (\text{ii})$$

FoV の重みには \mathbf{c}_i におけるカメラの光軸ベクトル \mathbf{v}_c と、 \mathbf{c}_i と \mathbf{p} のベクトル \mathbf{v}_i の内積、また FoV の最小値 a_{\min} を基に計算する (式 (iii))。

$$w_{\text{fov}}(i) = \max(a_{\min}, \mathbf{v}_o \cdot \mathbf{v}_i) \quad (\text{iii})$$

これらの重みと任意の調整用パラメータ (α, β, γ) から 3 次元幾何形状の頂点 \mathbf{p}^V 毎に視点依存画像 I_i のブレンディング時の重みを決定する (式 (iv))。

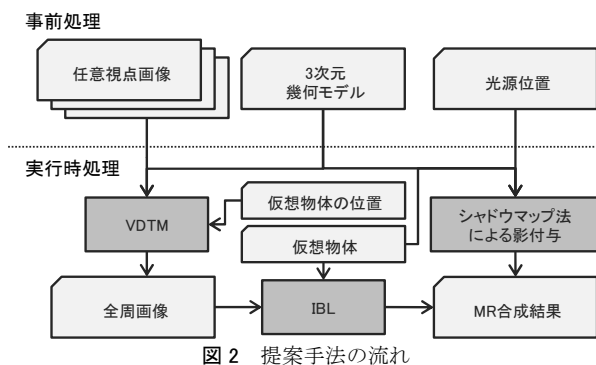


図2 提案手法の流れ

$$w(i) = (\alpha w_{\text{ang}}(i) + \beta w_{\text{res}}(i)) \gamma w_{\text{fov}}(i) \quad (\text{iv})$$

この重みに基づくブレンディング処理は、高速化のため、ポリゴン毎に GPU で並列処理する。全周画像は、仮想物体の重心位置を与えることにより、その位置において水平垂直の画角が 90 度の仮想カメラを 6 方向に配置することで取得する。

(B-2) IBL により仮想物体に照明効果を付与

上記 (B-1) で取得した視点依存画像 I_i から成る全周画像を基に IBL を行い、対象シーンの照明効果を仮想物体に付与する。

(B-3) シャドウマップ法により影を付与

(A-4) で取得した光源位置 \mathbf{p}_l^T 、仮想物体及びシーンの幾何形状からシャドウマップ法を利用して仮想物体に影を付与する。

4. 実験

4.1. 実験内容

提案手法により、仮想物体が移動した際にも光学的整合を保つことができることを確認する。結果を明確にするため、仮想移動物体付近に実物体を複数配置した。全周画像が取得できていることを示すために鏡面球を仮想移動物体として使用した。本実験では、全周画像を生成するための視点依存画像 I_i は事前処理で取得するため、対象シーンの照明条件は不変であるとする。

また、Agisoft 社製 PhotoScan を用いて視点依存画像 I_i のカメラの位置姿勢を計算した。対象シーンの 3 次元幾何形状は、PhotoScan から得られたものを基に手作業で修正を加えたものを使用した (図 3 (a))。3 次元幾何形状の頂点数は 1,056 点、ポリゴン数は 1,802 ポリゴンである。

提案手法の実装には、描画用 API に OpenGL (GLSL 3.3 以上での動作を確認) を、カメラにはキャノン社製 EOS 5D Mark III を用いた。事前取得した視点依存画像 I_i ($1 \leq i \leq 188$) のサイズは 720×480 画素である。実行処理時に使用した PC の構成は、CPU : Intel Xeon E5-2637 v3、メモリ : 32GB、GPU : NVIDIA Quadro K4200、OS : Windows 7 Professional (64bit) である。

4.2. 実験結果と考察

図 3 はある視点におけるシーンの再構成結果である。シーンの再構成にかかる処理時間は 1 視点当たり約 3ms であった。1 つの全周画像の取得には 1 つの仮想物体当たり 6 視点必要となるため、全体として 17ms かかる。

図 4 に示すのは、全周画像を逐次更新しない MR 合成結果 (a) (c) と逐次更新する (提案手法) MR 合成結果 (b) (d) の比較である。図 4 (a) では図 1 (a) の仮想物体の位置の全周画像を利用して IBL を行った。よって、移動後

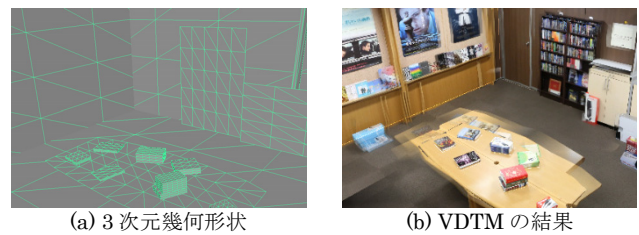


図3 VDTM によるシーンの再構成



図4 実験結果

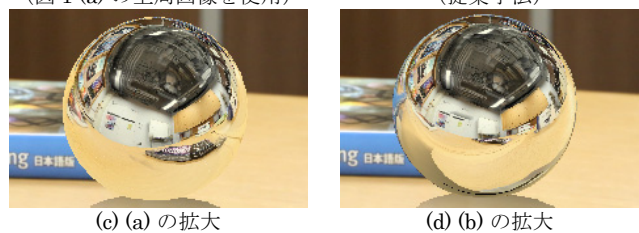


図4 実験結果

に遠のいたはずの本が未だに写りこんでいる。一方、図 4 (b) では正しい位置に本が描画されていることが分かる。仮想物体への IBL の適用にかかる処理時間は 3ms であり、MR 合成時にかかる全体の処理時間は 20ms である。

以上の結果から、提案手法により移動する仮想物体に対して、実時間で光学的に正しく MR 合成できることが示された。VDTM は荒い 3 次元モデルを用いても写実的な結果が得られるが、シャドウマップ法で落ちる影が実シーンに即さないことがある点は改善の余地がある。

5. むすび

本論文では、移動する仮想物体を MR 合成する際の光学的整合の実現を可能にする一手法を実装した。本手法では、VDTM を利用して仮想物体の設置位置に依存した全周画像を生成することで、シーン中の物体に生じるスペキュラ反射、視差を移動後も正確に表現した。今後は、HDR カメラを使用した VDTM を利用することで、本手法の精度向上を図る。

本研究の一部は、科研費・基礎研究 (S)「複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化」と学振・特別研究員奨励費 (課題番号 25・9193)「複合現実空間の表現力向上のための 2 つのアプローチ」による。

参考文献

- [1] P. Debevec: "Rendering synthetic objects into real scenes: bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography," Proc. SIGGRAPH, pp. 189 - 198, 1998.
- [2] P. Debevec, et al.: "Modeling and rendering architecture from photographs: A hybrid geometry- and image-based approach," Proc. SIGGRAPH, pp. 11 - 20, 1996.
- [3] K. Rohmer, et al.: "Interactive near-field illumination for photorealistic augmented reality on mobile devices," Proc. ISMAR, pp. 10 - 12, 2014.
- [4] M. Meilland, et al.: "3D high dynamic range dense visual SLAM and its application to real-time object re-lighting," Proc. ISMAR, pp. 143 - 152, 2013.
- [5] C. Buehler, et al.: "Unstructured lumigraph rendering," Proc. SIGGRAPH, pp. 425 - 432, 2001.