

実時間再照明付与と補助的視覚効果による 複合現実空間の照明効果

Lighting Effects in Mixed Reality Space by Real-Time Relighting with Visual Effects

和田大輝¹⁾, 一刈良介²⁾, 大島登志一³⁾, 柴田史久¹⁾, 田村秀行¹⁾

Taiki WADA, Ryosuke ICHIKARI, Toshikazu OHSHIMA, Fumihisa SHIBATA, and Hideyuki TAMURA

1) 立命館大学 大学院理工学研究科 2) 同 総合理工学研究機構 3) 同 映像学部

Abstract: This paper describes the work of relighting to Look-Change of mixed reality (MR) space. In our previous work, we introduced a relighting method to have addition virtual illumination of a point light source. There is a lot of illumination such as an illuminant in real world. We propose a real-time relighting method to apply the effects of a surface light source to both real objects and virtual objects. Visual effects are purposely added in rendering for films or games production. We considered the presence of a smooth gradient around an illuminant for relighting. We utilize the relighting method for a MR attraction.

Key Words: Mixed Reality, Relighting, Photometric Consistency, Visual Effects

1. はじめに

我々は、現実世界と仮想世界を融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) において、両空間の照明を自在に設定し直し、その光学的外観 (ルック) を変更・加工する再照明付与 (relighting) の研究を行っている。再照明付与により、現実の照明下とは異なる雰囲気 of MR 表示を実現することで、MR 空間の表現力が増す。

まず研究の第一歩として、MR 合成した映像に対して空間全体の色味を変更し、仮想照明を配置する方法で MR 空間の再照明付与を達成した [1]。その再照明付与の流れを図 1 に示す。これは照明効果を反映した映像の再現性を重視しており、物体表面が照明からの照度によってどのくらい明るくなるかを求めている。

実世界には電球や蛍光灯など面光源の照明のように、その物体自体が輝く発光体が存在する。再照明付与において発光体の表現を行うことにより、MR 空間の更なる表現力の向上が考えられる。しかし、一般的に面光源のような照明を正確に表現するためには、複雑な計算を要し、実時間処理を行うことは難しい。

そこで、本研究では従前の手法を改良し、実時間での再照明付与において面光源のような多種の光源の利用をできるようにする。これには、インタラクティブ性を重視した方法と写実性を重視した方法の両方を実現する。前者は、従来の点光源を利用することによる近似的な発光体の表現する方法を採り、後者では、予め計算しておいた照明結果を利用する方法を採用する。再照明付与結果は、上記 2 つの方法で表現される発光体に対して、周囲をぼかすことで映像作品に見られる視覚効果を付与し、より自然で表現力の高い MR 空間を提示する。本稿では、実時間性が要求される MR アトラクションへ導入し、本手法の有用性を確認した結果を報告する。



図 1 再照明付与の流れ

2. 発光体の表現

2.1 点光源を用いた発光体

本研究では、実時間で行われていた従来手法の照明計算を用いて、動的に操作可能な発光体の表現と共に再照明付与処理を実現する。従来手法と同様に MR 空間の物体幾何形状に対して被照面モデルを作成し、その表面反射特性として照度-RGB モデルを与える。点光源の照明によって被照面上に与えられる照度 E は式(1)から計算する。ここで、 I は光度を表し、 ϕ は被照点 P における法線と被照点 P から照明 L までの方向ベクトルが成す角、 $dist(P, L)$ は被照点 P と照明 L の距離である。

$$E = \frac{I \cos \phi}{dist(P, L)^2} \quad (1)$$

電球のような発光体表面の明るさは、球の物体内部に置かれた点光源からの光度が外部表面へ適用されることで現れる。図 2 には、球のモデルの内部に光度が一様に広がっている点光源を配置した例を示す。物体表面に付与される照度に関しては、その裏面においても近い照度が与えら

れると近似的に考えることで発光体表面の表現を行う。従来手法を用いた発光体の表現には、照明による被照面上への照度付与を行ったときに、その照明付与面とは反対の面に照度を反映すれば良い。

照明が付与される面の反対側の面へ照度を反映するには、(1)において物体の被照面上における法線ベクトル方向を反転させて照明計算を行う。また、発光体から発せられる光度は、発光体表面の材質特性により元の照明の光度よりも減衰すると考えられる。これには発光体表面を通過する光度に対しては、その表面の透明度の値を掛け合わせた光度を用いることで光の減衰の近似を行うこととする。図2に示すように点光源からの光度 I に対して、0 から 1 の値を持つ透明度 t を掛け合わせることで発光体から放射される光度を計算している。

求められた被照面への照度から再照明付与を行う。従来手法はスポットライトのように指向性のある照明であったため、照明位置から光軸方向への深度画像とカメラ位置からの深度画像の比較により、光源が当たるか判定していた。図2の指向性のない照明の表現も可能にするためには、双方物曲面を利用した全方位の深度画像による比較により判定できる。

2.2 点光源の照明付与結果

図3に球の発光体による再照明付与結果を載せる。(a)は入力画像、(b)は発光体配置による照度変化を示した照度マップ。(c)に再照明付与結果を載せる。このように点光源による照明計算を用いることにより、光源を囲む物体を擬似的な発光体として表現する。これに合わせた照明付与判定を全方位への対象とすることで、球の発光体のインタラクティブな照明変化が可能となる。

2.3 大域照明を用いた発光体

現実の照明環境を仮想物体に一致させる光学的整合性を実現する研究において、実時間で質の高い画像を生成するため事前にレンダリングされた画像を用いる研究[2]が行われている。実時間再照明付与において光の相互反射を考慮した複雑な照明計算結果を反映するため、予め計算しておく手法をとる。面光源のような照明には大域照明を用いて、点光源では表現できないソフトシャドウや発光体の照明効果を実現する。予め計算した大域照明の計算結果は、実時間手法と同様に、被照面上で計算し照度マップに格納する。そのため、その場の状況に応じた照明変更は行えないものの、視点移動は可能である。

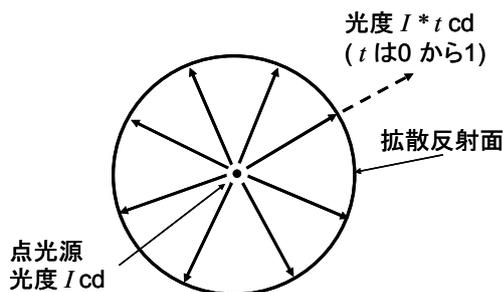
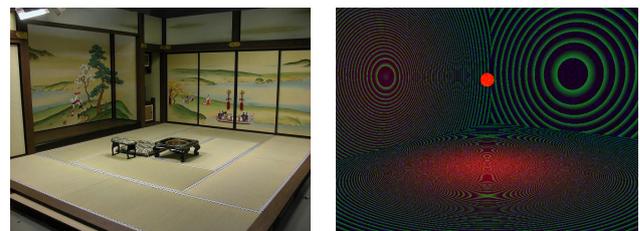


図2 点光源による発光体の表現



(a) 入力画像

(b) 照度マップ



(c) 再照明付与結果

図3 点光源の発光体による再照明付与結果

また、仮想物体のアニメーションに関しては事前に動きが決定しているものであれば、全フレームの照明を予め計算しておくことで、実現可能である。

大域照明の計算には古くから多くの研究で用いられているフリーの照明シミュレーションソフトの Radiance[3]を用いる。Radianceで照明シミュレーションを行う際には、MR空間の幾何形状と物体表面の反射特性を与える。再照明付与で扱う反射特性の照度-RGBモデルは、鏡面反射成分に考慮していない。そのため、Radianceでの物体の反射特性は、拡散反射面のみと近似する。次に、与えた仮想空間に対して光源の形状・明るさを設定し、配置する。これにより、所望の照明環境を決定し、その結果画像をレンダリングする。このとき、光源により与えられる照明効果を求めるため、環境光は設定しないこととする。

再照明付与時には、照明シミュレーションによりレンダリングした結果を3次元空間へマッピングするため、多数の方向からのレンダリング画像を用いる。テクスチャの投影方向は照度画像作成においてカメラ位置姿勢、画角、画面アスペクト比、前方・後方クリッピング面の値が決定していることからビュー変換行列、射影変換行列を求めることができる。予め求めておいた照度マップが1枚だけの場合は、照度マップでは写っていない表面の照度値を求めることができない。そこで照度マップが写っていない領域は、別の照度マップより照度を取得することで、射影空間内の全ての点において照度値を取得可能にした。

2.4 大域照明付与結果

MR映像に対して再照明付与を行った結果を図4に示す。図3の(a)の和室セットに行灯の照明効果が反映されるとして、事前に求めた照明計算を用いる。(a)は事前に照明計算を行った結果であり、このカメラ視点だけでは隠蔽される面が存在するため、それを補間するために(b)のカメラ視点からの画像を用いる。(c)と(d)はそれぞれ照度マップの結果である。(e)に行灯による再照明付与結果を示す。また、(f)はさらに点光源の照明効果を加えた画像である。

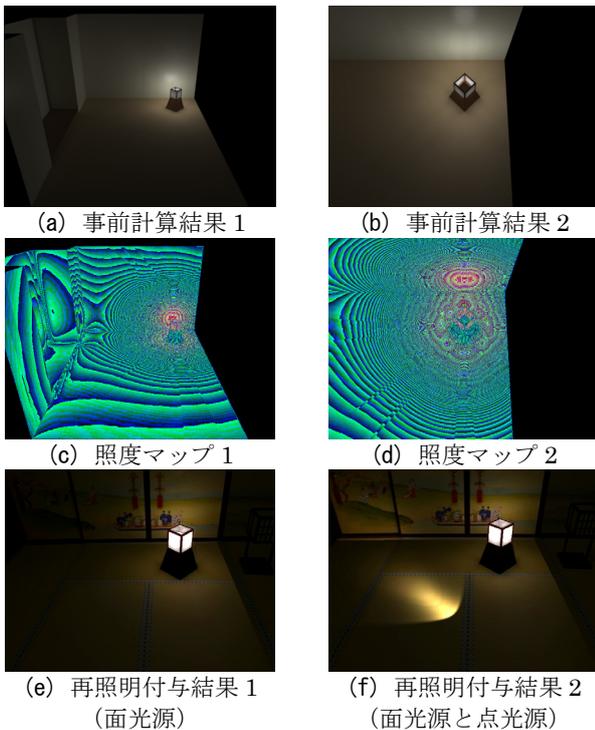


図4 大域照明を用いた発光体の再照明付与結果

3. 補助的視覚効果の付与

2章では再照明付与による被照面への照明付与だけではなく、発光体の表現を行った。映画やゲームにおいては自然な映像を作り上げ、演出力を高めるために意図的に視覚効果の付与が行われる。より表現力の高い再照明効果を付与するためには、画面上に補助的な視覚効果を付与することが有効であると考えられる。

発光体のような光源は、ぼかすことにより眩しく見せるグレアの効果があることが Yoshida ら[4]に報告されている。グレアとは高輝度な明るさの物体を眺めたときに眼のまつげやレンズで起こる光の散乱、回折によって現れる。本研究は眼で起こる光の反射の構造をシミュレートするものではないが、グレアに相当する効果を用いることで、発光体の表現をより自然に感じられる効果が得られると考える。そこで、再照明付与による発光体を演出する表現として、ぼかしの視覚効果の付与を実現する。

発光体周囲をぼかす処理は、再照明付与を実時間で処理しながらも同時に実行できる必要がある。そのため、一般的に実時間処理されるゲームなどで用いられるガウスフィルタを発光体の領域に掛け合わせる処理を行った。式(2)にガウス関数の式を示す。 x, y はピクセルの配列番号、 σ は標準偏差、 k はすべてのカーネル要素の合計から求める正規化係数である。 σ の値によって発光体のぼかす範囲を変更することができる。

$$f(x, y) = \frac{1}{k} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

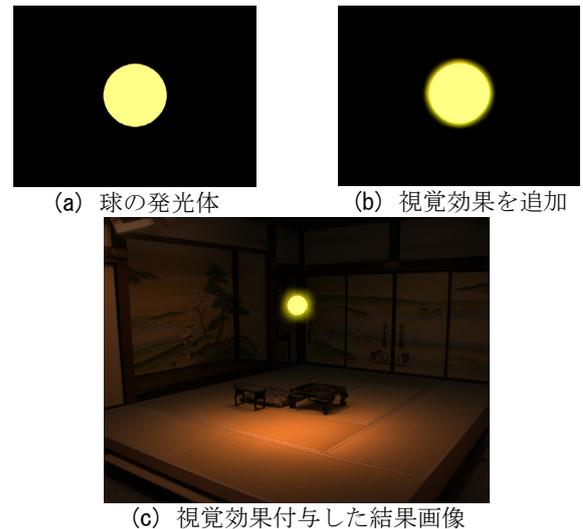


図5 ガウスフィルタによるぼかし効果

図5は球の発光体に対してガウスフィルタを掛けた画像である。(a)は発光体だけの画像、(b)はガウスフィルタをかけた画像、(c)が再照明付与における視覚効果がある発光体の結果画像である。この結果より発光体の周囲にぼやかす効果が付与されていることが分かる。複数の発光体の表現が行われるときであっても、ガウスフィルタは1枚の画像に対して掛け合わせることですべての光源に視覚効果を付与することが可能である。

4. MR アトラクションへの導入

4.1 アトラクションの概要

これまでに述べた実時間再照明付与処理を MR アトラクション内で実現する。このアトラクションはビデオシースルー型 HMD を付けた体験者の目の前の空間に妖精のキャラクターが現れ、ユーザとのインタラクションを行える内容となる。点光源による発光体とぼかしの視覚効果を利用して MR 空間を浮遊する妖精を表現する。MR 空間の背景シーンには予め計算した面光源の照明として行灯を利用する。行灯はラジオシティによる計算コストの高い照明表現となり、動的なシーンの変化には対応できないので、シナリオ上の工夫を行い表現する。これら多種の光源による再照明付与処理を MR 空間内に対して行うことで、幻想的な照明空間を作り出す。

4.2 機器構成

作成したアトラクションの機器構成を図6に示す。MR 空間の管理、再照明付与処理を行う PC には、CPU: Intel 社 Core i7 3.2GHz, GPU: nVidia 社 GTX280 を利用する。カメラから得た画像を目の前のディスプレイに表示するためにはビデオシースルー型 HMD(Canon VH2007)、ヘッドトラッキング機構として Pohlemus 社 Fastrak を採用した。実装は DirectX9 環境下で行い、再照明付与処理は上位レベルシェーダ言語を用いて GPU 上で処理することで高速化を図っている。

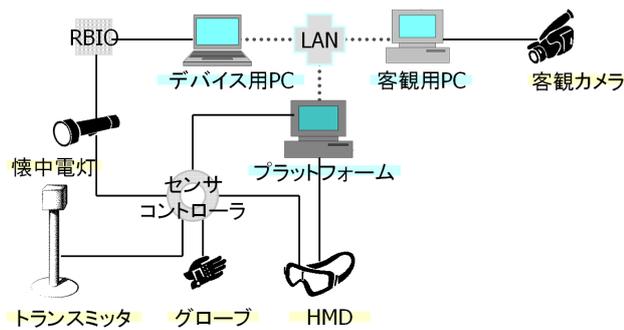


図 6 機器構成図

4.3 処理手順

実時間 MR 体験において取得した実画像と仮想物体を合成し、再照明付与を行う処理手順を述べる。再照明付与には事前にデータを準備しておく前処理と体験中の実時間処理の 2 つのステップに分けられる。

1. 前処理

- ① 被照面モデルの作成
- ② 反射特性の推定
- ③ 大域照明効果の照度マップの作成

2. 実時間処理

- ① HMD の両眼のカメラ映像のキャプチャ
- ② 両眼のカメラ映像のレンズの歪み補正処理
- ③ 位置姿勢推定機構によるカメラ位置姿勢の更新
- ④ CG 物体、CG キャラクタの合成
- ⑤ 色調補正処理
- ⑥ 被照面モデルにカメラ位置姿勢から透視投影変換
- ⑦ スクリーン上に写る被照面モデル上の点で、仮想照明による照度の増加量の計算し、照度マップへ格納
- ⑧ 視覚効果として発光体にぼかし処理
- ⑨ 現在の照度値と仮想照明効果付与後の照度を用いたキャプチャ画像の RGB 階調値の変換

実時間処理において、①から⑨の処理を繰り返すことで、再照明付与を行う。このとき実時間性を考慮し、順次映像を獲得する①と②の映像獲得と③から⑨の再照明付与と分けて 2 つの処理を並行して行う。実時間で照明計算する照度と予め計算しておいた照度変化量は、光の性質上、照度マップで単純に照度を加算することで実現できる。これら結果を出力することで、光学的変更を加えた結果を提示する。

4.4 動作結果

図 7 に MR アトラクションでの再照明処理を付与している結果を示す。(a) から (c) は体験者が見ている空間、(d) が客観視点カメラから眺めた画像である。再照明付与に加えて補助的な視覚効果を生じさせた見た目の変更が行えていることが分かる。色調補正処理において、RGB 階調値を一定の割合に下げることによって、取得した映像よりも暗い空間を表現している。再照明効果付与処理として照度値から RGB 階調値へ変換を行う際に、RGB 値に対して異なる係数を掛け合わせることで照明色を付けている。

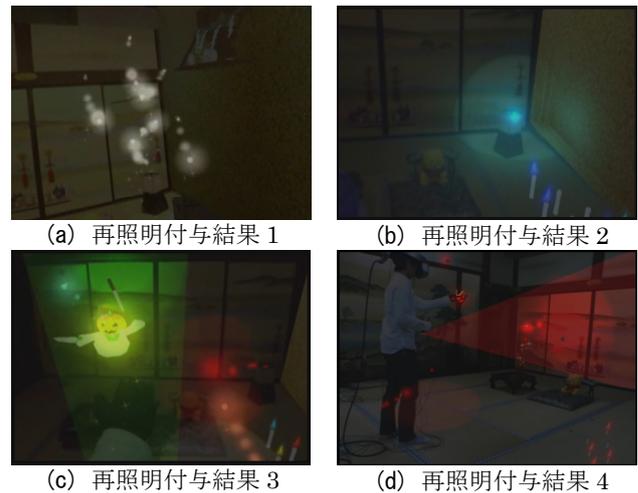


図 7 体験風景

5. むすび

本稿では、実時間再照明付与における発光体の表現として、照明計算の実時間処理と事前処理を用いる手法について述べた。インタラクションが行われる空間との使い分けにより、多種の照明効果を MR 空間で用いることができる。このとき、表現される発光体に対してガウスフィルタをかけることで再照明付与の表現力を増やすための補助的な視覚効果を付けた。本手法を MR アトラクションへ導入することで、実際の照明下とは異なる空間を演出でき、実用性を確かめることができた。また、実時間で両眼映像に対する再照明付与処理を行うことができた。

今後の課題として、反射特性をより厳密に求められるようにし、実時間で利用できる照明の種類が充実すれば、さらに写実性の高い再照明付与が行えると考えられる。また補助的な視覚効果について、照明に合わせたパラメータの自動決定を可能にすることで、その利用しやすが増し、その他の視覚効果を追加することで、演出として利用できる場面を増やすことができると考えられる。

謝辞

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業 (CREST タイプ) 「映画制作を支援する複合現実型可視化技術」による。

参考文献

- [1]一刈良介, 西沢孝浩, 大島登志一, 柴田史久, 田村秀行: “再照明付与による複合現実空間のルック変更の子試み-MR-PreViz 映像への映画的照明演出を例として-”, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 15, No. 2, pp. 213-220, 2010.
- [2]角田哲也, 大石岳史, 池内克史: “影付け平面を用いた複合現実感における高速陰影表現手法”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 62, No. 5, pp. 788 - 795, 2008.
- [3]RADIANCE, <http://radiance.lbl.gov/radiance>
- [4]Y. Akiko, M. Ihrke, R. Mantiuk, and H.-P. Seidel: “Brightness of the glare illusion,” Proc. of APGV, Los Angeles, CA, USA, 2008.