



# 上半身の自由視点映像へのリライトの検討

Relighting to Free-Viewpoint Images of Upper Body

栗原健斗<sup>1)</sup>, 黒木帝聡<sup>2)</sup>, 花光宣尚<sup>2)</sup>, 山田秀人<sup>2)</sup>, 小池崇文<sup>1)</sup>

1) 法政大学 情報科学研究科 (〒 184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2,  
kento.kurihara.2e@stu.hosei.ac.jp, takafumi@hosei.ac.jp)

2) Enhance Experience Inc. (〒 153-0042 東京都目黒区青葉台 2-3-1 小杉ビル青葉台,  
tadatoshi.kurogi@gmail.com, nobu, hideto@enhance-experience.com)

**概要:** 本発表では, 人物上半身画像の多視点画像から生成した自由視点画像にリライトした結果と課題について報告する. HMD を用いた Mixed Reality 等の体験において, 実写画像を表示するには自由視点映像が必要である. 一方で, 自由視点映像では, ライトを後から変更するのは難しい. そこで, 我々は, 自由視点映像に既存のリライト技術を適用し, どの程度の画質が得られるかの基礎検討と実験を行った.

**キーワード:** free-viewpoint image, light field, relighting

## 1. はじめに

Mixed Reality Headset (以下, MR ゴーグル) をかけて見える世界には, 現実世界の映像とバーチャル世界の映像が混在している. それゆえ, ユーザには, 現実世界の目の前に無いはずのオブジェクトが実在していると感じさせることが重要である. このような実在感をつくりだすために, MR ゴーグルに表示するバーチャル世界のオブジェクトは, モデルと形状, 質感, ライトの情報が重要である. 一方で, ライトフィールドレンダリング [1] をはじめとする, Image-Based Rendering 技術を用いれば, 自由視点映像を生成することが可能となり, 必ずしもモデルや質感の情報は必要ではなくなる.

ライトフィールドレンダリングでは, 光を光線場として考え一般的に位置と角度の四次元で表現し, 多視点画像を変形や合成して自由視点を実現した. 一方で多視点画像の撮影では, 被写体の時系列を合わせる必要があるため, 静止物体より動物体の方が難しい. 時系列を合わせた撮影には, 複数台のカメラを並べたカメラアレイを用いる手法がある. しかし, カメラアレイの開発には, カメラ選定に始まり, カメラ配置や構造, 配線の設計, 物理的実装など作業量が多く, 高コストになる課題がある. 我々は, カメラアレイの開発を手助けする, 多視点画像の撮影シミュレーションプラットフォームを提案している [2]. これを用いて定めた設計値のカメラアレイで自由視点映像を生成した. 生成した自由視点映像では, モデルと形状を生成できるが, 質感とライトの反映を表現できないという課題がある. そのため, 光源の差異をなくすために, 現実世界の光源で自由視点映像をリライトすることが求められる.

既存のリライト手法では, 人物の顔画像に対してリライトを行っているが, 上半身を対象としたリラ

イト結果を示していない [3, 4]. 目の前に実在していると感じさせるためには, 顔の映像だけではなく, 上半身が映る映像の方が好ましい. そこで本研究では, 人物の上半身が映った自由視点映像にリライトを適応させた (図 1). これにより, 新たな光源によるリライトされた映像を見ることで, 光源の矛盾を減らせると考えられる.

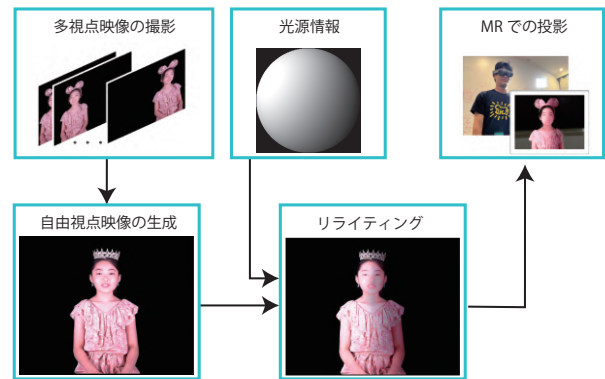


図 1: 自由視点映像のリライトパイプライン.

## 2. リライト

人物の顔画像へのリライトには, Hou らの研究 [3] や Zhou らの研究 [4] などがある. これらの研究では, ライト情報を球面調和関数 (Spherical Harmonic lighting: SH lighting) で近似している.

ライト情報の表現に球面調和関数は一般的に使用されてきており, 例えば, 入射放射輝度と BRDF を表現するために, 球面調和が用いられてきた手法 [5] や, 球面調和関数を用いたライトの研究には, Sloan ら [6] の手法がある.

そこで、本研究でも SH Lighting でのリライティングを用いている。また、本研究のリライティングの手法には、SH Lighting を用いているリライティング手法で出力結果と実行時間から、Zhou らのアルゴリズムを使用している。

次に、SH Lighting の計算方法について説明する。単位球面上の点の球座標への標準的なパラメタリゼーションがあるとする。球面上の正規直交基底

$$(x, y, z) = (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta),$$

を用いて、以下のように SH 関数を定義する。

$$Y_l^m(\theta, \phi) = K_l^m e^{im\phi} P_l^{|m|}(\cos \theta) \quad l \in \mathbf{N}, -l \leq m \leq l$$

ここで、 $P_l^m$  はルジャンドル倍関数、 $K_l^m$  は正規化定数であり、以下のように定義される。

$$K_l^m = \sqrt{\frac{(2l+1)(l-|m|)!}{4\pi(l+|m|)!}}$$

上記の SH 関数には、虚数が含まれているが、球面上の光の強度を近似するために実関数だけを用いる。つまり、SH 関数のうち、実球面調和 (Real Spherical Harmonic) 関数のみを使用し、

$$\begin{aligned} Y_{l,m} &= \begin{cases} \sqrt{2}\text{Re}(Y_l^m), & m > 0 \\ Y_l^0, & m = 0 \\ \sqrt{2}\text{Im}(Y_l^m), & m < 0 \end{cases} \\ &= \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}(Y_l^{-m} + (-1)^m Y_l^m), & m > 0 \\ Y_l^0, & m = 0 \\ \frac{i}{\sqrt{2}}(Y_l^m - (-1)^m Y_l^{-m}), & m < 0 \end{cases} \\ &= \begin{cases} \sqrt{2}K_l^m \cos(m\phi)P_l^m(\cos \theta), & m > 0 \\ K_l^0 P_l^0(\cos \theta), & m = 0 \\ \sqrt{2}K_l^m \sin(-m\phi)P_l^{-m}(\cos \theta), & m < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

と定義される。次に、SH 関数を SH 係数に変換する。

$$c_l^m = \int_s f(s) Y_{l,m}(s) ds \quad (2)$$

求めた値  $c_l^m$  を用いて、上記と逆の手順を行うことで近似関数  $\tilde{f}$  を生成する。

$$\tilde{f} = \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{m=-l}^l c_l^m Y_{l,m}(s) \quad (3)$$

Zhou らのリライティングでは、出力画像を  $\mathbf{I}$  とし、反射率  $\mathbf{R}$  と法線  $\mathbf{N}$ 、光源  $\mathbf{L}$  ( $\approx \tilde{f}$  上記で求めた近似関数) を用いて以下のように求めている。

$$\mathbf{I} = \mathbf{R} \odot Lsf(\mathbf{N}, \mathbf{L}), \quad (4)$$

ここで、 $\odot$  は、アダマール積を表し、 $Lsf$  は、ランバートシェーディングを表す。これらにより、球面調和関数を用いたリライティングが可能となる。

### 3. 提案手法

以下に、我々の自由視点映像生成方法とリライティング手法を示す。まず、本リライティングの対象となる自由視点映像の生成手法について説明する。次に、MR で表示することを考慮したリライティング手法について説明する。

#### 3.1 自由視点画像

ここでは、本研究で使用した自由視点画像について説明する。本研究では、自由視点画像生成用の参照カメラとして、SONY 社の Cyber-shot DSC-RX0 を 10 台並べた 1 次元配列のカメラアレイを用いた。各カメラは光軸が平行になり、且つそれぞれの間隔が 600[mm] になるように並べた。

このカメラアレイで取得した多視点画像から自由視点画像を生成するために、古典的なライトフィールドレンダリングの手法を用いた。まず図 2 に示すように、被写体をカメラアレイ面と平行な 1 枚の平面 (Focal Plane) として近似する。次に、自由視点画像を通る光線とカメラアレイ面の交点を算出し、この交点の近傍カメラを特定する。また、自由視点画像を通る光線と Focal Plane の交点を算出する。最後に、この交点から発せられた光線を近傍カメラの画像群から推定し、それらを重み付け加算して自由視点映像を生成する。

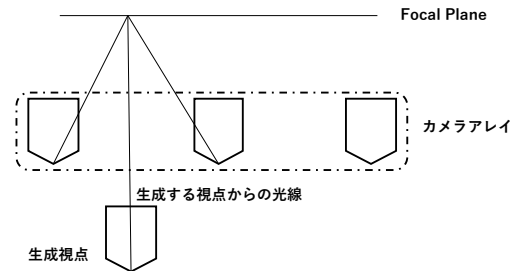


図 2: 自由視点映像の生成手法 ([7] の図を参考)。

#### 3.2 MR でのリライティング

今回、MR で表示させることを想定している。そのため、コンテンツとなる人物以外は、透過領域となるため黒背景としている。Zhou らのリライティングでは、上半身が映っている画像でのリライティングは考慮されておらず、上半身に対してリライティングを行うと図 3 のような白い領域が生じる。しかし、MR 体験において発生した白い領域は、透過した映像に影響を与えてしまう。例えば、Youtube のクリエイターが目の前にいる動画コンテンツの場合、白い領域が現実世界の背景に重なることで体感的な解像度が低くなると容易に想像できる。よって、リライティング後の画像から白い領域を除去する。

### 4. 結果

まず、被写体の上半身が映った映像に対してリライティングを行い、マスク処理を行った。光源には、図 4 を用い



図 3: 上半身ライティングによる背景に白い領域の発生 ((a): ライティング前, (b): ライティング後) .

た. ライティング後の背景に出現していた白い領域が除去されていることを確認できる (図 5) .

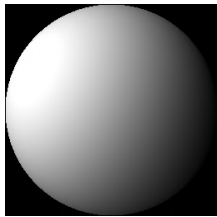


図 4: 球面調和光源 (光源の向きは左上から球体中心方向) .



図 5: 背景の白い領域の除去 ((a): マスク処理適用前, (b): マスク処理適用後) .

次に, 3 視点 (被写体を左からと中央から, 右から見た視点) の自由視点映像に対して, 図 6 の 2 種類の光源でライティングを行った. 使用した自由視点映像には, 3.1 節の手法を用いている宮脇ら [7] の研究で生成された 2 パターンのものがある. 図 7 では, 被写体の右上部分が光源によるライティングされているのを確認できた. また, 左部分では, シャドーイングが適用されているのが確認できた.

図 8 では, 被写体の左部分が光源によるライティングされているのを確認できた. また, 右部分では, シャドーイングが適用されているのが確認できた.

ここで, 図 9 でのライティング結果 (図 10) を見ると被写体の左部分が光源によるライティングされ, 右部分では, シャドーイングが適用されているのが確認できたが, 明らかに画質劣化しているのがわかる. 右下から球面中心方向に向いている光源であるため, 右手首や右肩と同じように右ひじも照らされている結果になると予想できるが, そのような結果にならなかった.

## 5. 考察

図 7, 図 8 ともに, 被写体の移動と同様に光源も移動している. そのため, ライティングは常に同じ方向から同じ

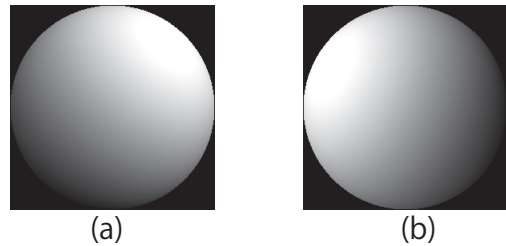
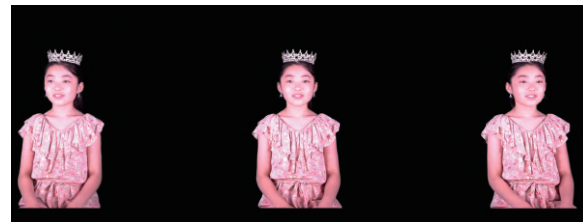
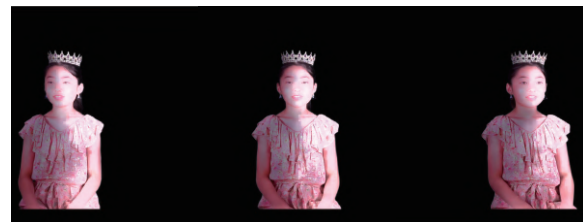


図 6: 2 種類の球面調和光源. 光源の向きはそれぞれ (a): 右上から球体中心方向 (b): 左上から球体中心方向.

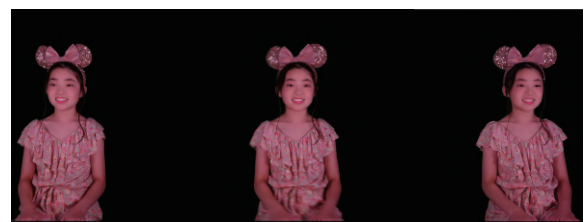


(a)

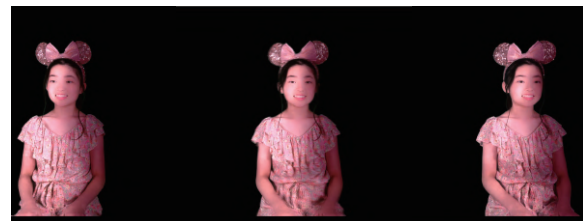


(b)

図 7: 図 6(a) の光源によるライティング適用結果 ((a): ライティングなし, (b): ライティング適用) .



(a)



(b)

図 8: 図 6(b) の光源によるライティング適用結果 ((a): ライティングなし, (b): ライティング適用) .

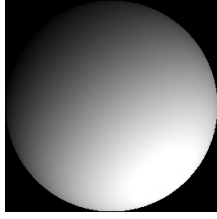
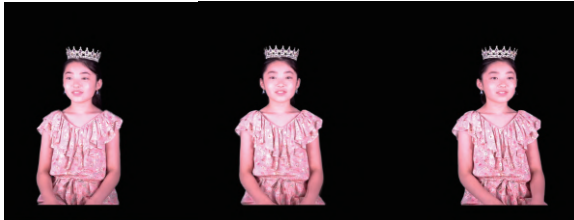


図 9: 球面調和光源 (光源の向きは右下から球体中心方向)。



(a)



(b)

図 10: 失敗例。

向きで被写体を照らしているような映像になった。これは、Zhou らのリライトングで法線推定を行っていることと視点移動が 1 次元であることが要因だと考えられる。

また、図 10 のようにリライトング結果の画像では、処理前の結果に比べ、高周波成分が抜け落ちていることが確認できる。そのため、ペンキのブラシで縦に塗ったようなレンダリング結果になっている。これは、SH 係数を求める際、式 (1) で低次元近似を行っていることが要因だと考えられる。現在、2 次で近似しているが、4 次、5 次と増やすことで改善されると考えられる [8]。

加えて、学習データに欧米人の顔画像のみ使われている。そのため、今回の実験のように、小さい子供でアジア人だと顔の凹凸が小さく、欧米人ほど法線推定が適切に行えていないと考えられる。

## 6. 結論

人物対象とした上半身が映っている自由視点映像に Zhou らのリライトングを適用した。その際、MR において、リライトング後に発生した背景の白い領域は、現実世界の映像に投影した際に矛盾した領域になるため、マスク処理で除去した。また、上半身を含めたリライトングでは、画質劣化がみられた。画質劣化の原因には、低次元近似を行っていることと学習データに偏りがあることだと分かった。

謝辞 本研究を行うにあたり、御協力を頂いた石塚諒伍氏に心から感謝いたしますと共に、厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Marc Levoy and Pat Hanrahan, “Light Field Rendering”, Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1996.
- [2] 栗原健斗, 黒木帝聡, 花光宣尚, 小池崇文, “カメラアレイ設計のためのゲームエンジンを用いた撮影シミュレーションプラットフォームの開発”, 情報処理学会第 84 回全国大会, 2022.
- [3] Andrew Hou, Ze Zhang, Michel Sarkis, Ning Bi, Yiyong Tong, and Xiaoming Liu, “Towards High Fidelity Face Relighting with Realistic Shadows”, Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2021.
- [4] Hao Zhou, Sunil Hadap, Kalyan Sunkavalli and David Jacobs, “Deep Single-Image Portrait Relighting”, 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2019.
- [5] Brian Cabral, Nelson Max, and Rebecca Springmeyer, “Bidirectional Reflection Functions from Surface Bump Maps”, Association for Computing Machinery (ACM), 1987.
- [6] Peter-Pike Sloan, Jan Kautz, and John Snyder, “Pre-computed Radiance Transfer for Real-Time Rendering in Dynamic, Low-Frequency Lighting Environments”, Association for Computing Machinery (ACM), 2002.
- [7] 宮脇志歩, 黒木帝聡, 花光宣尚, 小池崇文, “偏光を用いた多視点撮影による自由視点画像生成の高画質化”, 情報処理学会第 83 回全国大会講演論文集, 2021.
- [8] Zhong Ren, Rui Wang, John Snyder, Kun Zhou, Xingguo Liu, Bo Sun, Peter-Pike Sloan, Hujun Bao, Qunsheng Peng, and Guo, Baining, “Real-time Soft Shadows in Dynamic Scenes using Spherical Harmonic Exponentiation”, Association for Computing Machinery (ACM), 2006.