

映画制作のための複合現実型プレビジュアリゼーション (4)

—Relighting による映画的照明効果の付与—

一刈 良介[†] 西沢孝浩[†] 波多野亮平[†] 柴田史久[†] 田村 秀行[†]

[†]立命館大学大学院理工学研究科 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: ichikari@rm.is.ritsumeai.ac.jp

あらまし 我々は、複合現実感技術を用いて映画制作を支援する MR-PreViz プロジェクトを推進している。本研究では、仮想照明を用いて MR-PreViz 映像に対する Relighting を行い、完成映像の雰囲気（ルック）の事前可視化手法を提案する。光学的に矛盾のない Relighting を行うため、入力映像から目立つ陰影を取り除き、実物体の形状や反射特性を考慮した新たな仮想照明効果を MR-PreViz 映像に付与する。

キーワード 複合現実感, 映画制作, プレビジュアリゼーション, 光学的整合性, リライティング

Mixed Reality Pre-visualization in Filmmaking (4)

—Designing Cinematic Illumination by Relighting—

Ryosuke ICHIKARI[†] Takahiro NISHIZAWA[†] Ryohei HATANO[†] Fumihisa SHIBATA[†]

and Hideyuki TAMURA[†]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu-city, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: ichikari@rm.is.ritsumeai.ac.jp

Abstract We are developing a previsualization method called MR-PreViz, which utilizes mixed reality technology for filmmaking. To expand the ability to visualize final image of the movie using MR-PreViz, we focus on the “look” which refers to the feeling of an image provided by illumination and color tone. In this paper, we introduce a relighting method for MR-PreViz movies. The proposed method allows MR-PreViz movies to have additional virtual illumination and the removal of actual illumination in designing cinematic illumination. The effects of illumination are applied to both real objects and virtual objects while keeping photometric consistency.

Keyword Mixed Reality, Filmmaking, Pre-visualization, Photometric Consistency, Relighting

1. はじめに

近年の大作映画制作では、従来の絵コンテに加えてコンピュータグラフィクス（CG）を用いた PreViz（Pre-Visualization の略。アニメティックスともいう）の利用が進んでいる。本番撮影の前に CG 映像を用いて想定シーンを予め可視化することで、仕上がりイメージを共有して本番撮影ができる利点がある。我々は、現実空間と仮想世界を融合する「複合現実感」（Mixed Reality; MR）技術[1]を PreViz に用いる「MR-PreViz プロジェクト」[2]を推進している。これまでのシンポジウムの発表では、MR-PreViz の基本計画概念と初期プロトタイプ[3]、前年はカメラワーク・オーサリングツールとカメラワーク記述言語 CWML（Camera-Work Markup Language）、MRP ブラウザ[4]、アクションシーン構築方法やアクショントレーニングシステム[5]に関して紹介してきた。これらの研究の成果は、実証実験として企画した短編映像「カクレ鬼」

の撮影[6]にて利用し、監督のイメージをスタッフに伝える上での絶大な効果を発揮した。「カクレ鬼」の撮影では、MR-PreViz を用いて事前に完成映像の色合いや照明といった雰囲気（ルック）まで検討したいという声スタッフが寄せられた。そこで、本稿ではルックの事前可視化を行うために、屋内外において仮想照明を実物体・仮想物体双方に適用する Relighting を提案する。仮想照明を光学的矛盾なく、リアリティの高い照明効果を実現するため、実写映像中の影の除去、実物体の幾何形状の入力と反射特性の推定、照明機材の配光データの入力を行う。

2. MR-PreViz における Relighting

2.1. MR-PreViz におけるルックの検討の導入

映画制作において、ルックとは映像の「色合いや質感」を意味し、重要な要素の一つである。本番撮影時の照明やポストプロダクション段階で色調補正を行うことで監督や撮影監督らのルックのイメージは映像化



図 1: Relighting の流れ

される。今まで、撮影前に監督の頭の中にあるルックのイメージは、そのイメージと近い映画作品のシーンを例にあげるなどの方法によりスタッフに伝えられ、事前に明確に映像化して示されることはなかった。MR-PreViz において、カメラワークやアクションの事前可視化に加えて、このルックも事前に可視化できれば、更に高いレベルで監督の持つ完成イメージを共有できると思われる。照明効果は、ルックに関わる重要な要素の一つであり、撮影後に変更することは困難であることから、事前に詳細に検討しておく価値がある。ただ、PreViz 撮影時と本番撮影時の照明環境が変化することも考えられるので、厳密なシミュレーションはあまり意味をなさない。本研究では、ルックのイメージを表現する絵作りに重点を置き、色調の調整、照明効果の事前可視化により実現を目指す。

2.2. Relighting の流れ

MR-PreViz では、屋内外の映画のシーンの事前可視化を行うことから、本手法も屋外での利用を想定する必要がある。また本手法の目的は、監督・撮影監督のルックのイメージの映像化であり、厳密な照明のシミュレーションではない。これらを考慮して MR-PreViz 映像に対し仮想照明効果を反映させることで照明効果の再構築 (Relighting) を行うため、以下の 3 段階の処理を与えることとする。

Step 1: Relighting を妨げる影領域を除去

Step 2: 画面全体の環境光を色調補正で表現

Step 3: 仮想照明効果を実物体と仮想物体に付与

Step 1 では、Relighting をする上で、仮想と現実の影の濃さや方向の不整合により矛盾が生じることを避けるため、実写映像中の影の除去を行う。Step 2 では、影が除去された映像に対して、色調補正処理を行う。色調補正は、各カラーチャンネルに対して、任意の値を乗じることで明るさ、色調を変更する。これは環境光の近似に相当する。Step 3 では、仮想照明の効果を現実物体・仮想物体双方に適用する。光学的に正しく仮想照明効果を付与するため、実物体の幾何形状の入力、反射特性の推定を行う。MR-PreViz における Relighting の処理の流れを図 1 に示す。

MR-PreViz では、SD (Standard Definition) の合成映像を実時間で確認しながらのカメラワークの試行錯誤

に加えて、オフラインレンダリングを用いて同内容の HD (High Definition) の合成映像を生成できる。上記の Relighting の処理は、MR-PreViz 撮影後にオフライン処理で実現することを想定しており、実時間制約のない時間をかけた処理が可能である。

3. 強い日照により生じた影の除去

3.1. 影の除去の概要

2.2 節に示した Step 1 の影領域の除去は、現実の影と仮想の影の方向の違いや濃さの違いなど、MR-PreViz に対して Relighting を行う際に生じる照明効果の光学的矛盾を避けるためのものである。本節では、この実写画像からの影成分の除去に関する問題点と解決策について述べる。

3.2. 影の除去に関する従来研究

現在までに、実写画像から影を除去するために様々な手法が研究されてきた。Weiss ら[7]は同一カメラ位置で、複数の照明効果に対し同じシーンを撮影した画像で影除去を行った。Finlayson ら[8]は光源効果を排除した画像を基に影のエッジを抽出し、影を除去する手法を提案した。しかしこれらの手法は、膨大な計測時間を必要とするものや影以外の部分を除去してしまうことがあり、MR-PreViz 映像での影除去には適していない。また影の濃さを一様として処理しているために、屋外で頻出する境界の領域がくっきりしていない影 (ソフトシャドウ) に対する除去の精度があまり高くない。そこで本研究では、屋外での強い日照により生じた影を対象とし、影領域を手動で選択することにより影除去の精度を高める。また影領域の濃淡情報を持った「シャドウグラデーションマップ (SGM)」を作成し、それを基に影除去を行うことでソフトシャドウにも対応させる。

3.3. 提案する影除去手法

3.3.1. 影領域の定義

屋外で現れる影は太陽により生じるものが多い。強い日照により生じる影を分析すると、以下のような性質を持つと考えられる。

- (1) 日向に比べ色温度が高い
- (2) 日向に比べ明度が低い
- (3) 影の向きは一様
- (4) 影領域内での色の変化は緩やか
- (5) 影と日向の明確な輪郭がほぼ存在しない
- (6) 影領域内の濃淡は一様でない

これら 6 つの性質の中で最も重要なのは(5)と(6)である。太陽は平行光源であると仮定され影付けを行われることもあるが、現実には太陽光は完全な平行光源ではないためソフトシャドウや濃淡が一様でない影領域が存在する。よって画像情報のみでは、先に述べた

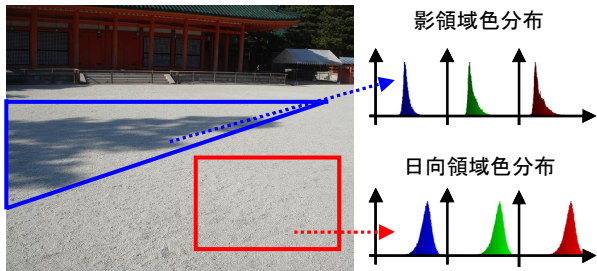


図 2 影除去の前処理

ような影領域を抽出することは難しく、濃淡情報を考慮せずに除去を行った場合、正確な結果を得ることができない。そこで手で影に関する情報を入力し、その情報を基に SGM を作成することで影除去を行う

3.3.2. 影領域と日向領域の特定

本手法では正確な影除去を行うため、影除去に必要な以下の情報は図 2 のように手で与える。なお、選択する領域は同一テクスチャで構成された領域とする。

- ・ ソフトシャドウを含む処理対象影領域
- ・ 影領域付近の明確な日向領域

このとき、日向と影領域から影除去時に必要な基準の色分布情報を抽出する。日向領域の色分布情報は、SGM 作成時の膨張の終了条件としても用いる。

3.3.3. SGM の作成

3.3.2 節で得た情報を基に、ソフトシャドウの抽出と精度の高い影除去を実現するため、濃淡情報を持った SGM は、図 3 に示すように、以下の手順で作成する。

- 2 値化処理による影領域の深影部抽出
- 深影部の膨張処理
- 膨張領域内の変化を基にした等高線表現による領域分割

影領域のうち、最も暗い影を落している「深影部」を 2 値化処理によって抽出する。この「深影部」が SGM 作成のベースとなる。ソフトシャドウはその特性上、影と日向の境界が曖昧で単純な 2 値化や先にあげた関連研究の手法を用いても領域を分割することは難しい。そこで深影部の膨張を繰り返すことで、深影部から延びるソフトシャドウを含む影領域を抽出する。

膨張の終了条件は、一段階膨張させるごとに前段階との差分領域を抽出し、差分領域の色分布が日向領域の色分布に最も近づいたときとする。その膨張領域に対し、閾値を変化させることで等高線を描画し SGM を作成する。しかし、このまま等高線を引いただけでは、影領域内の地面の模様にも影響を及ぼすことがある。そこで、等高線描画のための値を参照する際にメディアンフィルタをかけ、極端な値の変化を抑える。この手法で得られた SGM を用いればソフトシャドウに限らず領域内部の濃淡変化が一樣でない影に対しても効果を発揮する。

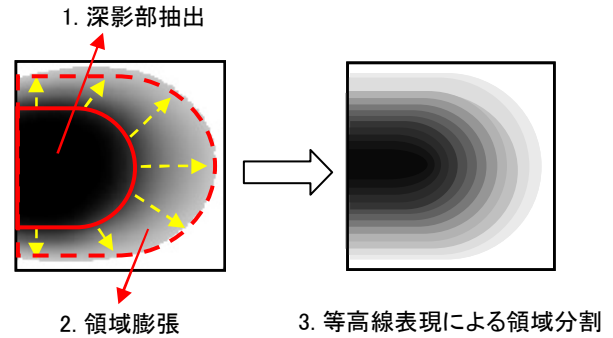


図 3 SGM の作成手順

3.3.4. 影成分除去

SGM 作成後は、それをもとに日向領域と色分布を一致させることで影成分を除去する。前述のように、同一テクスチャで構成された影領域と日向領域の選択を予め手で行っているが、これは MR-PreViz 用途では十分許容される条件である。同一テクスチャであれば、処理対象領域の色分布を日向領域の色分布に一致させることで、影領域は日向領域に変換され影を除去したことになる。

影除去は日向領域の色分布に影領域の色分布を一致させるという方法で実現し、式(1)に示すように、前節で作成した SGM から導出した重み W をかけることで影除去を行う。

$$C_{shadow}^i = C_i + (C_{sun} - C_{shadow}) W_i \quad (1)$$

ここで C_i は SGM の等高線が引かれた領域の各色、 C_{shadow} と C_{sun} は基準となる影領域と日向領域の RGB 値の中央値である。日向領域と影領域は同一テクスチャであっても明度の違いにより RGB 値の分散値が異なる。そこで、明度・色相補正後、分散値の一致を式(2)で行う。

$$C_{shadow}^i = C_{shadow}^i + \sigma_{sun} / \sigma_{shadow} ((C_{shadow} \cdot e_{sun}) - v_{shadow}) e_{sun} \quad (2)$$

ここで e_{sun} は日向領域における RGB 値の中央値の各色の比率を表すベクトル、 σ_{sun} と σ_{shadow} は各領域の色分布と e_{sun} の内積の標準偏差、 v_{shadow} は影領域の色分布と e_{sun} の内積の平均値である。日向領域の色分布は、実際には部分ごとにばらつきがあり、サンプリングした領域と大きく色分布が異なる場合きれいに影を除去することができない。そこで、日向領域が含まれる影除去対象領域を複数のサブ領域に分割し、そのサブ領域と近傍のサブ領域にある日向領域の色分布を式(3)と図 4 に示すように重み付けして目標の日向の色分布を決定することで、日向領域の色分布のばらつきに対処した。ここで、 d_n は影領域各点から分割した日向領域への最短距離、 N_n は各日向領域の RGB 値の中央値とする。

$$C'_{sun} = \sum_{n=1}^3 N_n (d_3/d_n) / ((d_3/d_1) + (d_3/d_2) + (d_3/d_3)) \quad (3)$$

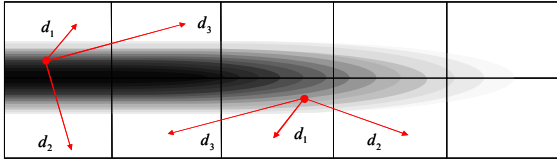


図4 日向の色分布への対応

3.4. 影除去結果

提案手法を適用した結果は、図5に示すとおりである。入力画像には、快晴の日に屋外で撮影したものを使用した。図5(a)のSGMが図5(b)である。このSGMを使用し影除去を行った結果が図5(c)、SGMを使用せず影除去を行った結果を図5(d)に示す。SGMを用いて影除去を行った画像は、多少の誤差は残るが、使用しなかったものと比較したとき境界付近の除去の精度が向上していることがわかる。この結果よりSGMを用いた影除去は有効であるといえる。結果の誤差はソフトシャドウのぼけ方が不規則なために、深影部の膨張処理だけでは影領域を完全に抽出できないことが原因として考えられ、今後その解決策を検討していく必要がある。

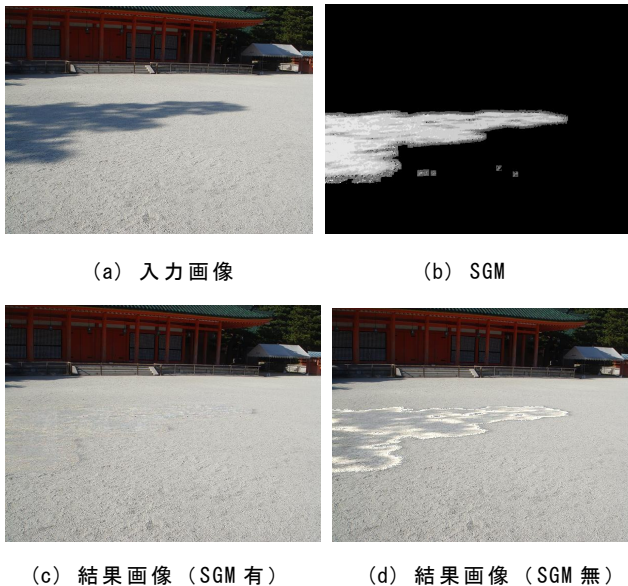


図5 実験結果

4. 表面反射特性に基づく Relighting

4.1. 手法の概要

2.2節に示す Step 2, Step 3では、影が除去された映像に対して、色調補正処理、仮想照明効果を付加することにより、ルックの事前可視化を行う。光学的に正

しく違和感のないように仮想照明を付与するには、実物体の反射特性の推定と、照明機材の分光特性を考慮する必要がある。一般的にカメラで観測できる物体の輝度値 B は照度 E と物体固有の表面反射特性 S 、カメラの口径や電氣的な増幅などによるゲイン τ から式(4)で表せる。

$$B = \tau SE \quad (4)$$

実物体に対して、仮想照明の効果を正確に反映させるためには、その実物体の表面反射特性 S を知っておく必要がある。表面反射特性は二色性反射モデルによって全ての方向に一樣な色を反射する成分である拡散反射成分と、指向性を持つ反射成分である鏡面反射成分の和によって表される。本研究では、ルックの検討において照明の影響で実物体表面がどれだけ明るくなるかが最重要であると考えられること、ハイライトは演出効果として後に付加できることから、鏡面反射成分を考慮しないこととする。

4.2. 関連研究

上述のように Relighting と反射特性の推定は密接な関わりがあり、Relightingは実物体の反射特性の推定をその基盤としていることが多い。実物体の表面反射特性を取得するために様々な手法が研究されている。Yuら[9]は、幾何モデルと複数の光源下で撮影されたHDR画像を用いて、実空間の物体の反射特性を反復的な最適化手法で推定し Relighting を実現した。福富ら[10]はラジオシティ法を用いてレンダリングした画像と実写画像とを比較し、誤差を最小化させることでBRDF (bi-directional reflectance distribution functions) を推定し、ラジオシティ法において、逐次的なレンダリングを行うことで、対話的な照明シミュレーションを実現した。しかしこれらの研究は、実環境を正確にモデル化する必要があるため、屋外環境で用いるのは現実的ではない。MR-PreViz映像の Relighting では既に実世界の照明に照らされている現実物体に仮想照明を加えるため、BRDFのような厳密な反射特性関数を求める必要はなく、ある面をどの程度照らせばRGB階調値がどの程度増加するのかを求めることができれば良い。そこで、本研究では、被照面の照度を物体色が既知の基準物体を用いて求め、実物体の表面反射特性を高速に推定する手法を採用する。

4.3. 簡易的な反射特性推定アルゴリズム

式(4)より、カメラから取得した画像の画素値を輝度値 B 、ゲイン τ を手動で設定する固定値とすると、照度 E が既知であれば表面反射特性 S を求めることができる。そこで本手法では、照度推定用の基準物体を作成し、基準物体と表面反射特性を求めたい実物体とを同時に映すことで実物体周辺の照度と、表面反射特性

を推定する。

4.3.1. 反射特性推定用基準物体

本研究では、カメラ画像より照度を推定するため、以下の5つの条件を満たすように基準物体を作成する。

- 基準物体領域と観測領域の二つの領域を持つ物体として認識される
- 基準物体領域は単色で構成されている
- 鏡面反射成分を殆ど持たない
- 照度変化と物体色変化の対応が既知 (照度-RGBモデルを持つ)

● 基準物体が観測領域に光学的な影響を与えない
照度-RGBモデルとは、照度と物体色の対応を示すモデルである。本稿では照度を変化させ撮影した複数の画像中の基準物体領域のRGB階調値の最頻値をプロットし、それらの点を元に対数近似することで作成した。なお、照度-RGBモデルを作成するには白色光源下で基準物体を撮影する。そのため、実際に基準物体から反射特性を推定するにはホワイトバランスの調整を行う必要がある。図6に基準物体を示す。

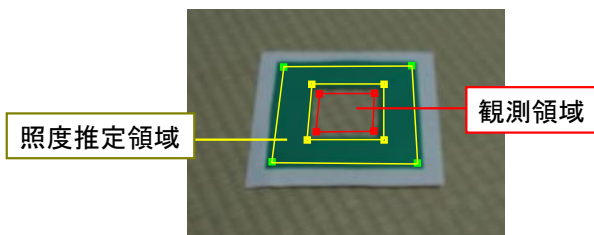


図6 基準物体

4.3.2. 基準物体を用いた照度推定

4.3.1節で述べた基準物体の基準物体領域の色から照度を推定する。拡散反射成分は全ての方向に等しく検出され、物体そのものの色を表す成分という定義から、基準物体領域で最も頻繁に現れるRGB階調値を代表値として、照度-RGBモデルを用いて照度を求める。

4.3.3. 照度推定精度実験

基準物体による照度推定の精度を調べるため、実験を行った。本実験で用いたカメラは Point Grey Research 社製の IEEE1394 カメラ GRAS-20S4C-C (解像度: 640×480 pixels) である。照度の真値計測用には、コニカミノルタ製の照度計 T-10 を使用した。

カメラは基準物体を囲むように8方向に配置し、その複数画像の平均照度と標準偏差を計測した。実験結果を表1に示す。

実験の結果、照度が高い部分では、本手法で推定された照度は、照度計で計測された真値との差が多くなり、正確に照度が推定できていないことがわかる。これは、照度とRGB値の関係を示す曲線の傾きの値が低

表1 照度推定実験の結果

F値	4			
計測照度(lx)	300	911	1840	3100
推定照度平均(lx)	298.1517	1114.006	2081.231	3518.461
推定照度の標準偏差	8.00997	190.5273	217.7731	239.2866
F値	5.6			
計測照度(lx)		911	1840	3100
推定照度平均(lx)		995.3313	2057.236	3633.357
推定照度の標準偏差		74.98157	118.9096	187.0787

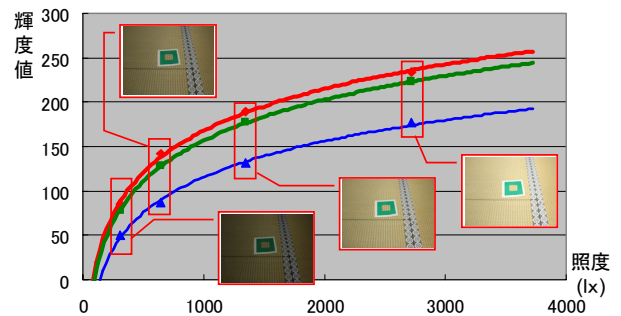


図7 量の照度-RGBモデルの推定結果

くなり、RGB値より求まる照度の分解能が低いことをあらわしている。そこで、絞りやシャッター速度を変更し、適切なRGB値になるように調整すれば改善することが期待できる。

4.4. 反射特性推定結果

上記の基準物体の照度-RGBモデルを利用して、実環境中の反射特性を推定する。基準物体の照度-RGBより求まる実物体表面上の照度と表面のRGB値との関係を取得し、基準物体と同様に照度-RGBモデルを構築する。照度とRGBの関係は、複数の照度において求めそれらを図7に示すように対数近似し、関数化する。屋外環境のように、照明を変更することが困難な場合にも、絞りやシャッタースピードを変更することで、擬似的に推定される照度を変更することでも、同様の結果が得られることがわかっている。

5. 表面反射特性を考慮した Relighting

表面反射特性、シーンの幾何形状が求めれば、Relightingにより、仮想照明効果を付与することができる。仮想照明による効果は、被照面の照度が照明によりどれだけ変化するかを示す照度マップを用いることで計算する。現実の照明機材から照らされる光の特性を反映させるため、照明器具メーカーが公開しているIES(Illuminating Engineering Society)データと呼ばれる配光データを採用することとした。照明が被照面の1点に与える照度 E_{light} は、図8に示すように、式(5)で計算できる。ここで I_{θ} は光度を表し、照明の配光特性が、

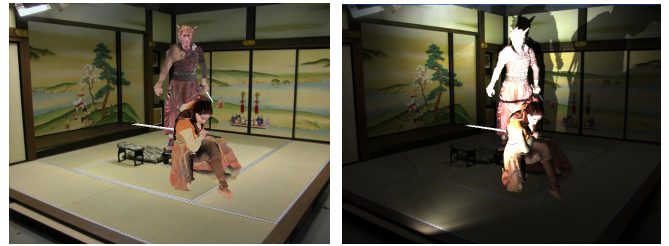
光軸からの角度 θ を参照値とする Lookup table の形で保存されている IES ファイルから計算する. ϕ は被照点 P から照明 L までの方向ベクトル d_{PL} と, 被照点 P における法線ベクトル n が成す角, $distance(P, L)$ は被照点と照明間の距離である.

$$E_{light} = I_{\theta} \cos \phi / distance(P, L)^2 \quad (5)$$

次に, 照明をあてた後の被照面の RGB 階調値 $B_{lighting}$ を式(6)より算出する. E_{light} は照明により加えられる照度で式(5)より求める. E_{img} は Relighting 前の被照面の照度で, 元画像の被照面の RGB 階調値 B_{img} を, 提案手法によって推定した反射特性で割ることにより求める.

$$B_{lighting} = B_{img}((E_{img} + E_{light}) / E_{img}) \quad (6)$$

これらの処理によって Relighting 処理を行った例を図 9 に示す. (a)屋内での Relighting 結果, (b)屋外での Relighting 結果である.



(a) 屋内シーンの結果 (右 : 入力画像, 左 : 結果)



(b) 屋外シーンの結果 (右 : 入力画像, 左 : 結果)

図 9 Relighting 結果

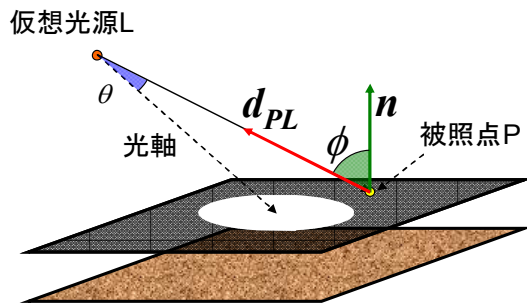


図 8 照度マップへの照度変化量の記録

6. むすび

本稿では, MR-PreViz でのルック検討を実現するために, 屋内外シーンにおいて適用な Relighting 手法を提案した. 仮想照明を実物体, 仮想物体双方に光学的に矛盾のない様に適用するため, 実画像中の影の除去, 実物体の簡易的な反射特性の推定を行った. 提案手法で求めた反射特性を元に Relighting 処理を行った結果, 意図したとおりに被写体を強調するような演出効果が得られた. 今後は動画像中の影領域の追跡を行い, MR-PreViz 時のカメラワーク情報を利用することで, 動画像全体に対して Relighting 処理を適用できるよう拡張する. またすべての処理を実時間でできることを目標に, 処理の高速化を行っていく.

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感技術」による.

文 献

- [1] Y. Ohta and H. Tamura : “Mixed reality---merging real and virtual worlds”, Ohmsha & Springer (1999)
- [2] 一刈, 川野, 天目, 大島, 柴田, 田村 : “映画制作を支援する複合現実型プレビジュアライゼーションとカメラワーク・オーサリング”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.3, pp.343-354 (2007)
- [3] 一刈, 別府, 小川, 川野, 木村, 柴田, 田村 : “MR-PreViz : 映画制作のための複合現実型プレビジュアライゼーション”, 第 2 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, 2-4 (2006)
- [4] 一刈, 川野, 森本, 天目, 大島, 柴田, 田村 : “映画制作のための複合現実型プレビジュアライゼーション (2) - カメラワーク記述言語 CWML と MRP ブラウザの開発 -”, 第 3 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, 7-4 (2007)
- [5] 藤本, 橋本, 小川, 天目, 柴田, 田村 : “映画制作のための複合現実型プレビジュアライゼーション (3) - アクションシーン構築とアクショントレーニングシステム -”, 第 4 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, 3-4 (2008)
- [6] カクレ鬼 Web サイト
<http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/MR-PreVizProject/kakureoni/>
- [7] Y. Weiss : “Deriving intrinsic images from image sequences”, Proc. of ICCV 2001, pp. 68 - 75 (2001)
- [8] G. D. Finlayson, S. D. Hordley, and M. S. Drew : “Removing shadows from images”, Proc. of ECCV 2002, pp. 823 - 826 (2002)
- [9] Y. Yu, P. Debevec, J. Malik and T. Hawkins : “Inverse global illumination: recovering reflectance models of real scenes from photographs”, Proc of SIGGRAPH '99, pp. 215 - 224 (1999)
- [10] 福富, 町田, 横矢 : 表面反射特性の推定による仮想化現実環境の対話的な照明シミュレーション, 映像情報メディア学会誌, Vol. 57, No. 11, pp. 1 - 6 (2003)