

## 映像合成のためのセンサカメラによるリアルタイム照明推定手法

## Real-time Estimation Method of Lighting Condition with Sensor Cameras for Image Compositing

盛岡 寛史<sup>†</sup> 大久保英彦<sup>†</sup> 三ッ峰秀樹<sup>†</sup>  
 Hirofumi Morioka Hidehiko Okubo Hideki Mitsumine

## 1. はじめに

近年,CG 技術の発達に伴い,テレビ番組制作の現場でも CG の重要性は日に日に増している. その中で,制作現場で使用される CG の表現に関しては課題点が存在する.

ポストプロダクションにおいて,CG オブジェクトが実写映像内に設置されているような映像合成を行う場合,CG を実写映像の照明条件に合わせる必要がある. 従来,そのような作業には多くの労力がかかり,また作業者の能力にも大きく依存する. また,リアルタイムに CG と実写を合成する際には,規模の大きいシステムを導入する[1]ことが多い.

本研究では,番組制作向けに簡易なシステムにより,効率的で,かつ合成結果の品質の確保が可能な照明推定手法を提案する. 今回,推定した照明情報を用いた CG と実写の映像合成実験により,手法の有効性を確認したので報告する.

## 2. 関連研究

CG と実写を合成するために撮影環境から照明情報を取得・描画する従来手法としては,IBL (Image Based Lighting) [2]や,センサカメラで光源を計測して光源環境モデルを作り,そこから非リアルタイムで CG を合成する手法がある[3].

広く使われている手法である IBL は,鏡面球を使用して取得した撮影環境の輝度情報を基に CG を合成するものである. しかし,この手法は CG を合成する位置に鏡面球を置かなければならず,特に動的に変化する照明環境ではカメラが撮影している範囲内に置き続けることは困難である. また,HDR (High Dynamic Range) の画像を必要とするので,それを番組制作環境下で素早く簡易に作成するには制限が多い.

## 3. システムの概要

本システムは,簡易性とリアルタイム性を重視し,民生器のセンサカメラ 2 台とワークステーション 1 台で構成される. センサカメラは撮影対象から離れた場所に一定の間隔

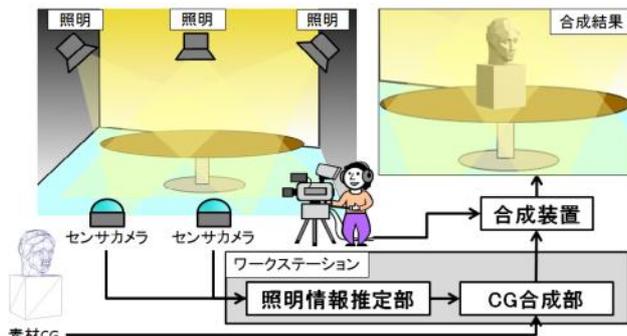


図1 システム概要

で配置する. カメラレンズは広範囲のスタジオ照明情報を取得できるように撮影画角 185° の魚眼レンズを使用した.

センサカメラで撮影された映像はワークステーションの照明情報推定部で解析されて,各照明の位置と強度が推定される. 照明の位置推定は本番撮影前に非リアルタイムで行われ,強度推定は本番撮影時にリアルタイムで行われる. それらのパラメータを基に CG 合成部で CG オブジェクトがレンダリングされ,最終的にスタジオの合成装置で実写映像と合成される. 図1にシステムの概要を示す.

## 4. 照明位置推定原理

照明の位置推定は三角測量の原理によって行われる. 2 台のカメラで撮影された画像を二値化して各照明領域の重心を求める計算を行い,その値をもとにレンズ主点から空間上に延長する方向ベクトルを決定する. 原理を図2に示す.

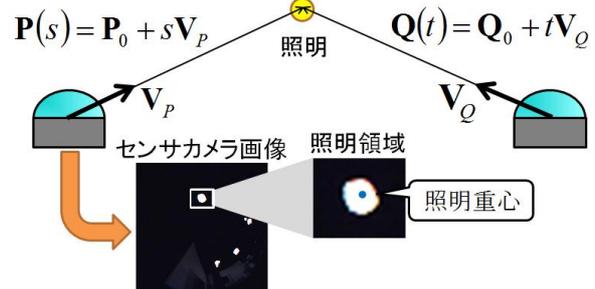


図2 位置推定原理

2 台のカメラのレンズ主点の位置ベクトルを  $P_0, Q_0$  とし, 画像中心に換算された方向ベクトルを  $V_p, V_q$  とし, のぼすベクトルの大きさを制御するパラメータを  $s, t$  とすると, 左右から見た照明重心の3次元位置ベクトルは

$$\begin{cases} P(s) = P_0 + sV_p \\ Q(t) = Q_0 + tV_q \end{cases}$$

となる. 実測では誤差が存在するので,  $P(s)$  と  $Q(t)$  は等しくならない. よって, 以下のように誤差のL2ノルムが最小となるパラメータの解析解を計算する. [4]

$$\begin{pmatrix} s \\ t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_p^2 & -V_p \cdot V_q \\ -V_p \cdot V_q & V_q^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} (Q_0 - P_0) \cdot V_p \\ (P_0 - Q_0) \cdot V_q \end{pmatrix}$$

## 5. 照明強度推定原理

照明強度の推定は 2 段階に分かれて行われる. 本システムでは強度の推定対象である各照明単体のみを点灯した画像から, 照明自体のように飽和した点および一定輝度以下の点をマスクした画素の輝度値を, 照明画像ベクトル  $p$  として本番撮影前に取得しておく. 図3に取得画像とマスクの例を示す. 白い部分が輝度値を取得する対象領域である.

<sup>†</sup> 日本放送協会 Japan Broadcasting Corporation



図3 取得画像とマスクの例

照明数を $n$ とし、各照明画像ベクトルを $\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n$ としてそれらを列ベクトルとする行列 $\mathbf{F}$ を定義する。また、各照明の強度を正規化した値を $k_1, \dots, k_n$ として、それらをベクトル化したものを照明強度ベクトル $\mathbf{k}$ として定義すると、照明強度が未知の画像を照明画像ベクトル化したものを $\mathbf{p}_{in}$ として、以下の方程式が成立する。

$$\mathbf{p}_{in} = \sum_{i=1}^n k_i \mathbf{p}_i = \mathbf{F}\mathbf{k}$$

これは、照明による明るさの線形性を利用したものである。 $\mathbf{F}$ は一般に行数が列数より大きく正方形にならないので、擬似逆行列 $\mathbf{F}^+$ を用いて照明強度ベクトル $\mathbf{k} = \mathbf{F}^+ \mathbf{p}_{in}$ を求める。これによって本番撮影時の各照明の強度情報をリアルタイムに推定できる。

## 6. 実験

### 6.1 実験環境

前述の方法で推定された照明位置と強度を用いて CG 合成部でオブジェクトがレンダリングされる。本システムではレンダラーに Unity Technologies 社のゲームエンジン Unity[5]を使用した。本実験ではレンダラー上で拡散反射のみの材質設定を行った CG オブジェクトのみを取り扱い、照明は点光源モデルを使用した。照明の強度のみを対象として色情報は対象外とした。

また、実験は、照明の位置・姿勢は変化せず強度のみリアルタイム変化するスタジオ環境とした。実験に使用したセンサカメラのスペックを表1に示す。

表1 センサカメラスペック

画像サイズ	782[pixel]×582 [pixel]
色深度輝度分解能	モノクロ 8[bit]
フレームレート	75[fps]

### 6.2 精度評価

レンダリングされた CG と同じ形状の実物を比較して、以下の項目に関する精度評価を行った。

- (1) 照明の陰影形状が CG と実物で類似しているか
- (2) 照明の強度を操作した時に CG の輝度値は実物の輝度値に追従するか
- (3) 照明の強度を操作した時に CG の輝度は実物に対してリアルタイムで変化するか

以下に実験の詳細を述べる。

#### 6.2.1 陰影形状の類似性

図4にCGと実物の比較の一例を示す。CGと実物の間で誤差を生じさせる原因としては、主にセルフシャドウ、照り返し、鏡面反射成分および照明位置誤差が挙げられる。この内、前3つはレンダラーに依存するものであり、それらを除くと、この実験結果から照明位置誤差の影響は微小であることが分かる。



図4 CGと実物の比較例

#### 6.2.2 強度変化時の追従性

図5に、法線ベクトルが異なる平面の平均輝度がCGと実物の間でどの程度追従するかを表したグラフを示す。対象平面は像の赤で囲った複数部分で、それらの輝度値を正規化後に平均した値を結果として出している。CGと実物の平均輝度値が等しいことを表す理論値を赤で、実測値を青で示している。誤差は最大で3パーセント程度であった。

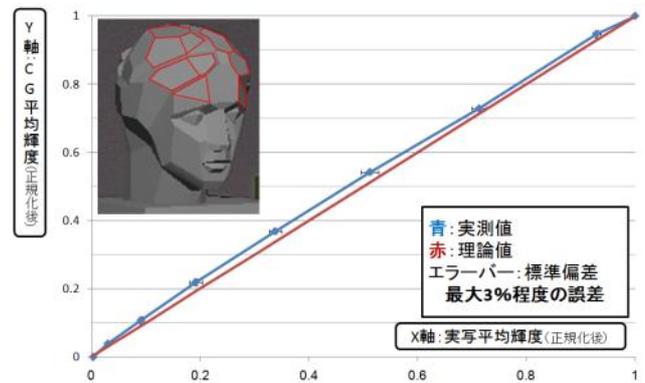


図5 CGと実物の平均輝度追従性グラフ

#### 6.2.3 リアルタイム性

照明強度を変化させた結果をVTRに収録してフレーム単位で遅延を確認したところ、CGの描画は実写映像に対して3フレーム程度遅延に収まっていた。

## 7. おわりに

撮影環境からリアルタイムに変化する照明情報を推定する手法を提案し、それを実写に合わせて自然にレンダリングする独自開発のCG生成システムを使って精度評価した。

結果、位置・強度の推定精度およびリアルタイム性に関して制作現場で要求される品質を満たすことが分かった。

今後の課題として、リアルタイムの照明位置・姿勢変化やカラー化への対応が挙げられる。これらの課題を解決し、実用化を目指す。

### 参考文献

- [1] 佐々木 剛, 戎 達生, 飯田 正博, 埜田 嘉一, “HD-VirtualにおけるCGと照明のリアルタイム連動による映像効果”, 信学技報 IE2005-95 (2005).
- [2] Paul Debevec, “Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image-based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography”, Proc. ACM SIGGRAPH 98 (1998).
- [3] 佐藤 いまり, 佐藤 洋一, 池内 克史, “全方位ステレオによる実光源環境の計測とそれに基づく仮想物体の実環境への重ね込み”, 信学論 (D-II), Vol. J81-D-II, No. 5 (1998).
- [4] Eric Lengyel, “Mathematics for 3D Game Programming & Computer Graphics”, Charles River Media (2001).
- [5] <http://japan.unity3d.com/>