

# 距離濃淡画像を用いた実物体の三次元モデルにおける 反射特性の推定

高浜 徹<sup>1</sup> 尾崎 智哉<sup>1,a)</sup> 増山 岳人<sup>1</sup> 梅田 和昇<sup>1</sup> ギー ゴダン<sup>2</sup>

## 1. はじめに

デジタルアーカイブなどの分野において、三次元モデルの重要性が高まっている。一般的な三次元モデルデータや製品の多くは、物体の形状と色情報のみを用いて生成されている。しかし、よりリアリティの高い三次元モデルを生成するためには、物体の反射特性も推定する必要がある。これらを推定する手法として多くの研究が行われている。猪瀬ら [1] は、対象物体に様々な方向から光をあてることにより双方向反射率分布関数を取得する手法を提案している。大槻ら [2] は、取得した形状と輝度に簡略化した Cook-Torrance モデル [3] を適用することにより反射特性を推定している。しかし、これらの手法ではセンサの物理的構造によって計測対象が制限され、さらに照明環境をコントロールした部屋や大掛かりな装置が必要となる。そこで、本論文では、レーザの反射光強度を計測し得られる距離濃淡画像の輝度値を用いて、簡略化した Cook-Torrance モデルを Levenberg-Marquardt 法 (以下 LM 法) により解くことで簡便に反射特性を推定する手法を提案する。

## 2. 提案手法

本手法では Kusanagi ら [4] の提案した手法を用いて色情報をもつ三次元モデルを生成している。この手法で使用している能動型距離画像センサは、計測対象にレーザ光を照射し、その反射光を利用して距離を計測している。このときの反射光の強度による濃淡画像を距離濃淡画像と呼ぶ [4]。

提案手法の流れを Fig.1 に示す。はじめに能動型距離画像センサを用いて、計測対象の距離画像と距離濃淡画像を複数枚取得する。これらの画像に対して輝度補正を行い、統合することで色情報を持たない三次元幾何モデルを生成する。反射モデルのパラメータは、計測時のレーザ照射部と受光部の幾何的關係及び LM 法を用いて推定する。最後

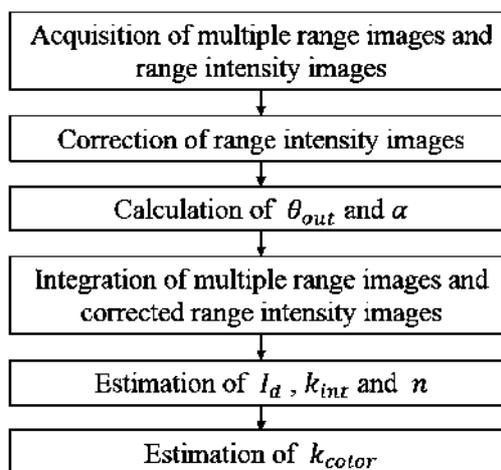


Fig. 1 Flow of the proposed method

に反射特性を持つ三次元幾何モデルにテクスチャマッピングを行い、色情報を付加した場合における反射特性の推定を行う。

### 2.1 反射モデル

光の反射を近似するモデルとして二色性反射モデルが広く用いられている。二色性反射モデルは指向性を持たない拡散反射成分と正反射方向を中心に反射する鏡面反射成分の線形和で記述される。本研究では二色性反射モデルの一つである Cook-Torrance モデル [3] を用いる。ただし式 (1) に示す簡略化したモデルとする。

$$I = I_d \cos \theta_{out} + k_{int} \frac{D(n, \alpha)}{\cos \theta_{out}} \quad (1)$$

$$D(n, \alpha) = \frac{1}{n^2 \cos^4 \alpha} e^{\left(-\frac{\tan^2 \alpha}{n^2}\right)}$$

$I$  は反射光,  $I_d$  は拡散反射成分,  $k_{int}$  は反射光における鏡面反射成分の割合,  $n$  は面粗さ係数,  $\theta_{out}$  は視線方向と法線方向の角度,  $\alpha$  は視線方向と光源方向を 2 等分するベクトルと, 法線方向との角度を表す。3 章で、反射特性を表す未知パラメータ  $k_{int}$  と  $n$  を推定する手法を示す。

<sup>1</sup> 中央大学大学院理工学研究科  
〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

<sup>2</sup> National Research Council, 1200 Montreal Road, Ottawa, Ontario K1A 0R6, Canada

a) ozaki@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

### 3. 反射特性の推定

#### 3.1 未知パラメータの推定

本手法では、3次元空間をボクセルで区切り、各ボクセル位置を代表点として反射特性の推定を行う。まず、各代表点から距離  $r$  内にある点群に対して近傍探索を行う。探索された点群に対して式 (1) に LM 法を適用することで、周辺領域の情報を用いた反射特性の推定を行い、未知パラメータ  $k_{int}$  と  $n$  を算出する。このとき、探索範囲内にあるすべての点が様な反射特性を持つとは限らないため、式 (2) に示すようにバイラテラルフィルタを用いて重みづけを行った評価値を最小化する。

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^N [w_i (I_i - I(\cos \theta_i, \alpha_i))]^2 \quad (2)$$

$$w_i = \exp\left(-\frac{d_i^2}{2\sigma_{dis}^2}\right) \exp\left(-\frac{\{I_i - I_{ave}\}^2}{2\sigma_{int}^2}\right)$$

$d_i$  は探索中心からの距離、 $average$  は探索範囲内の距離濃淡画像の平均値、 $\sigma_{dis}$ 、 $\sigma_{int}$  は距離、濃淡値の重みを表す。

#### 3.2 鏡面反射定数の調整

式 (1) の  $k_{int}$  は反射光に含まれる鏡面反射成分の強さを示す。一方、3.1 節で求めた  $k_{int}$  は距離濃淡画像におけるものである。カラー画像から取得した色情報とは輝度値のスケールが異なるため、式 (3) を用いてカラーの三次元モデルにおける  $k_{color}$  を求める。

$$k_{color} = \frac{ave_{color}}{ave_{int}} k_{int} \quad (3)$$

$ave_{color}$ 、 $ave_{int}$  はモデル全体における推定された色情報、距離濃淡画像の輝度値の平均を表す。

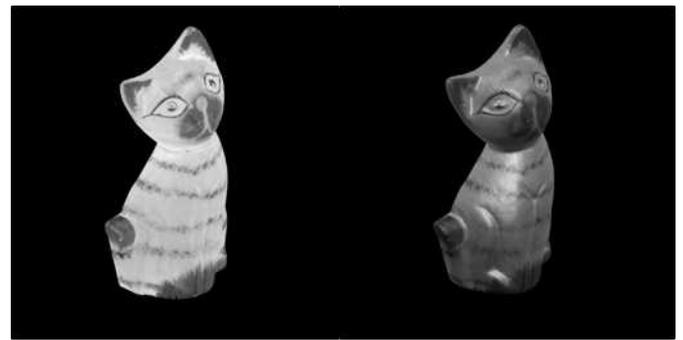
### 4. 実験

距離画像および距離濃淡画像の取得には、ShapeGrabber 製のレーザレンジファインダ SG-102 と走査レーザ PLM300 からなるシステムを使用し、計測対象の 16 方向から取得した。カラー画像の取得には Nikon 製のデジタルカメラ D70 を用い、計測対象の 12 方向から取得した。

推定した反射特性の妥当性を検証するために、仮想的に光源を設定し、各視点における反射光を算出した。光源はすべて無限遠からの光とした。

#### 4.1 実験結果

Fig.2 は幾何形状と距離濃淡画像から構成される三次元幾何モデルの反射特性を推定した結果、Fig.3 は幾何形状と色情報から構成されるカラーの三次元モデルにおける反射特性の推定の結果を実写画像と比較した図である。結果から、反射特性の推定を行うことで、実物体の質感が再現されていることがみてとれ、また反射特性を再現したこと



(a) Without reflection (b) With reflection

Fig. 2 Geometric model



(a) Real object (b) Proposed method

Fig. 3 Comparison of the reflectance property

により立体感がでた\*1。しかし、物体の色や質感を十分に再現できていないことも確認された。

### 5. 結論

本論文では、距離濃淡画像を用いて、簡単化した Cook-Torrance モデルから LM 法を適用することで反射特性を表す未知パラメータを算出し、物体の反射特性を推定する手法を提案した。実験により本手法の有効性を示した。今後の展望として、実環境にて光源分布を推定し、その結果を用いて反射特性を再現した三次元モデルと実物体を撮影した実写画像とを比較して定量的な評価を行う。

#### 参考文献

- [1] 猪瀬 健二, 福田 悠人, 川崎 洋, 古川 亮, “3次元物体の全周形状の高精度な計測および双方向反射特性の効率的獲得手法”, 第 12 回画像の認識・理解シンポジウム MIRU 2009, IS2-51, 2009.
- [2] 大槻 正樹, 三浦 淳, 佐藤 幸男, “多方向測定による物体形状と表面反射特性の計測”, 信学論 (D-II), J76-D-II-8, pp.1536-1543, 1993.
- [3] R. Cook, K. Torrance, “A reflectance model for computer graphics”, Computer Graphics, Vol.15, No.3, pp.307-316, 1982.
- [4] M. Kusanagi, K. Terabayashi, K. Umeda, G. Godin, M. Rioux, “Construction of a 3D Model of Real-world Object Using Range Intensity Images”, Seventh Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV 2010), pp.317-323, 2010.

\*1 Fig. 3(a) と Fig. 3(b) で光源設定が異なることに注意されたい。