

距離濃淡画像を利用した実物体の三次元モデル生成

中央大学 ○草薙真人, 篠崎めぐみ, 寺林賢司, 梅田和昇, カナダ国立研究所 ギー・ゴダン, マーク・リュウ

3D modeling of real-world objects using range intensity images

Chuo Univ. Masato KUSANAGI, Megumi SHINOZAKI, Kenji TERABAYASHI, and Kazunori UMEDA,

National Research Council Canada Guy Godin, and Marc Rioux

We propose a method for generating a 3D model with entire shape information of real-world objects and proper color information using range intensity images. Texture mapping is effective for 3D modeling. However, there are some problems in reconstructing correct object color and generating omnidirectional geometric model. In this paper, we construct a system that integrates multiple range and range intensity images, corrects color images and registers geometric model and color images. Experiments show the effectiveness of the proposed method and a 3D model is created.

1. 序論

近年, 実物体を観察することにより, その物体の三次元モデルを効率的に生成する試みが行われている[1]. その代表的な手法としてテクスチャマッピングが挙げられる. 物体の三次元形状を表す幾何モデルに実写画像をテクスチャとして貼り付ける本手法は, 写実性の高い三次元モデルを迅速かつ容易に生成出来る有用な手法である. しかし, テクスチャとなるカラー画像は撮影時の照明環境の影響を受けるため, 物体表面の反射特性を正確に再現出来ていない. また幾何モデルやカラー画像を取得するセンサは, 一般にある一視点からの情報しか取得出来ないため, 複数視点から取得した情報を統合することがよく行われる[2][3]. しかし, 複数のテクスチャを単純にマッピングするだけではテクスチャの継ぎ目が生じ, モデルの見えに違和感が残る問題がある.

これまでに我々は, 照明光の影響を除去するカラー画像補正手法の提案[4], 三次元モデルの全方位化の検討[5]を行ってきたが, テクスチャの部分的欠損や質感の低下等の課題が残されていた. 本論文ではこれらの手法を拡張し, 複数のテクスチャを滑らかに繋ぐことで見えに違和感のない三次元モデルの生成手法を提案する.

2. 三次元モデル生成手法の概要

三次元モデルの生成にあたり, 本研究では距離濃淡画像を利用する. 距離濃淡画像とは, 能動型距離画像センサでの距離画像取得と同時に得られる, 物体表面の反射率に関する濃淡画像のことである. 一例を図 1 に示す. カラー画像撮影時の光源環境が一般に未知であるのに対し, 距離濃淡画像は計測時に光源として用いるレーザ光の入射角や強度が制御されているため, これと既知の三次元形状をもとに物体の表面反射特性を推定出来るという有用な特徴を持つ. この特徴を利用して三次元モデルを生成する. 提案手法の流れを図 2 に示し, 各処理について以下に述べる.

2-1. 距離濃淡画像の輝度補正

能動型距離画像センサにより取得された距離濃淡画像は, センサ特性に由来する以下の影響を受けるため, まずこれらの影響を除去する補正を行う.

- ・センサと各計測点との距離
- ・計測点の面の向き(法線ベクトル)
- ・カメラが持つ固有の特性(ガンマや感度のばらつき等)

続いて鏡面反射成分の除去を行う. 距離濃淡画像中の物体表面には, センサと物体の位置関係により鏡面反射成分が生じるため, これを除去することで物体色を表す拡散反射成分のみを抽出する. 本論文ではこの鏡面反射成分の除去において, 二色性反射モデルのひとつである Torrance-Sparrow モデルにいくつかの仮定を設け, 簡略化した式(1)を用いる.

$$I = I_d \left\{ 1 + k \exp \left(- \frac{\alpha^2}{2\sigma^2} \right) \right\} \quad (1)$$

ここで, I はセンサ特性を補正した輝度値, I_d は拡散反射成分,



図 1 距離濃淡画像とカラー画像

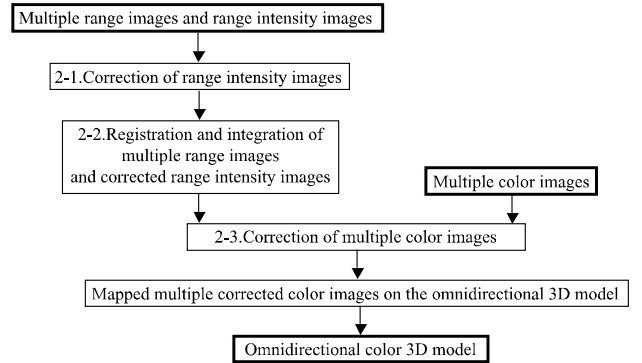


図 2 三次元モデル生成の流れ

α は光源ベクトルと視線ベクトルとのなす角の二等分ベクトルが法線ベクトルとのなす角である. また k は反射光における鏡面反射成分の割合を表す定数, σ は物体表面の粗さを表す係数である. k と σ を求めることで, 拡散反射成分 I_d を求めることが出来る.

2-2. 距離濃淡画像および幾何モデルの統合処理

前述のとおり, 一般に能動型距離画像センサでは, 一視点から見た断片的な幾何情報のみしか取得することが出来ない. そこで, 複数視点から取得した幾何モデルを共通の座標系に統一し, 一つの幾何モデルに統合することで全体形状を獲得する. またこのとき, 幾何情報と共に補正後の距離濃淡画像も統合することで, 幾何モデルに濃淡情報を付加する. 距離濃淡画像は光源環境の影響を受けているため, 単純な統合では画像の継ぎ目が生じるが, 事前に補正を行うことで滑らかな濃淡情報を生成する. この濃淡情報は次節で述べるカラー画像の輝度補正に利用する.

2-3. カラー画像の輝度補正

幾何モデルが持つ濃淡情報をカラー画像へ反映させるために, まず幾何モデルとカラー画像のレジストレーションを行う. 本論文では文献[6]の手法を用いる. 本手法は, カラー画像平面に投影された幾何モデルとカラー画像との重複する領域内でオプティカルフローの拘束が近似的に満たされると仮定し, 反復演算によってレジストレーションに必要なカメラパラメータを算出するものである. 文献[6]では断片的な幾何モデルのみ考慮されていたが, 本論文では全方位の幾何モデ

ルに対応出来るように拡張して利用する。

続いて、幾何モデルの各点をカラー画像平面へ投影して対応点を求め、対応点における幾何モデルの濃淡値 I_{ri} とカラー画像の輝度値 I_c の比 $c=I_{ri}/I_c$ を補正係数として算出する。カラー画像の輝度値 I_c には距離センサの光源色に最も近いチャンネルの画像を使用する。このとき、幾何モデルの解像度はカラー画像の解像度より低いため、カラー画像の各画素における補正係数を対応点における補正係数を補間することで算出する。算出した補正係数をカラー画像のRGB各チャンネルに乗算し、カラー画像の輝度補正を行う。

この補正テクスチャを幾何モデル上にマッピングすることで、テクスチャの継ぎ目のない三次元モデルを生成する。

3. 三次元モデル生成実験

提案手法を用いて実験を行った。対象物体は図3の茶筒(φ70mm×h105mm)である。距離画像、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用いた。カラー画像はNikon製のデジタルカメラD70を用い、RAW形式で取得した。

まず、距離濃淡画像の輝度補正の様子を図3に示す。(a)が補正前の距離濃淡画像、(b)がその距離濃淡画像に対して補正を行った結果である。このとき、式(1)における k と σ の値は実験的に求め、取得した距離濃淡画像全てにおいて $k=0.178$ 、 $\sigma=0.154$ とした。これを見ると、陰影の除去された様な濃淡分布が得られ、対象物体の中央付近に生じていた鏡面反射成分も除去されていることがわかる。式(1)のモデル式は仮定を多く含む近似的なものであったが、比較的良好な結果が得られている。また、図4に複数枚の距離画像および補正を行った距離濃淡画像を統合した幾何モデルを示す。本処理はInnovMETRIC社製のPolyWorksを用いて行った。この図より、物体の全体形状が生成出来ていることが分かる。また、滑らかな濃淡情報が得られていることから、補正の効果が見て取れる。

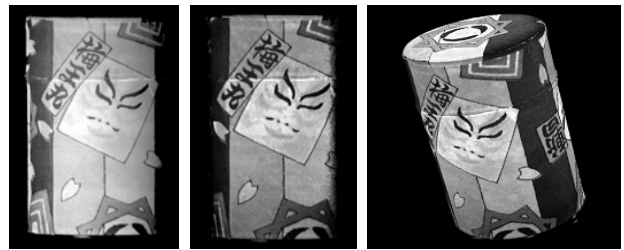
続いて、カラー画像の補正の様子を図5に示す。(a)が補正前、(b)が補正後のカラー画像である。このとき、補正係数の算出にはRチャンネルを用いた。図5より、カラー画像の明るさが距離濃淡画像の明るさに従うように補正されていることがわかる。これを複数枚のカラー画像に適用し、図4の幾何モデルにマッピングした結果を図6に示す。また図7は、特に継ぎ目が顕著に出ていた部分の拡大図で、(a)は対象部分のカラー画像、(b)は補正なし、(c)は補正ありの結果である。以上の結果より、テクスチャ間の輝度値が滑らかに繋がり、継ぎ目のない三次元モデルを生成出来ていることがわかる。また、2枚のテクスチャのオーバーラップ部における画素値の差分のヒストグラムを図8に示す。RチャンネルとGチャンネルにおいては補正後のピークが0付近に見られ、テクスチャ間の輝度値の連続性が得られていることがわかる。しかし、Bチャンネルにおいてはピークが-13前後に見られる結果となった。これは、Rチャンネルで算出した補正係数を用いて、カラー画像のRGB全てのチャンネルを同じ比率で補正していることが原因と考えられる。今後の課題のひとつである。

4. 結論

本論文では、距離濃淡画像の特徴を利用した実物体の三次元モデル生成手法を提案し、実験により有効性を検証した。今後の課題として、色情報の復元や補正結果の定量的評価を検討していく予定である。

参考文献

- [1] M. Levoy, et al. "The digital Michelangelo project: 3D scanning of large statues," SIGGRAPH 2000, pp.131-144, 2000.
- [2] C. Rocchini, P. Cignoni, and C. Montani, "Multiple Textures Stitching and Blending on 3D Objects," In Eurographics Rendering Workshop, 1999.
- [3] R. Sagawa, K. Nishino, and K. Ikeuchi, "Adaptively merging large-scale range data with reflectance properties," IEEE Trans. PAMI, vol.27, no.3, pp.392-405, 2005.



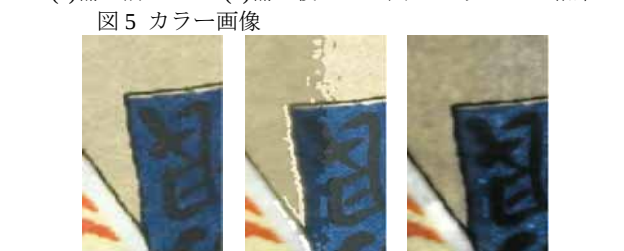
(a)補正前 (b)補正後

図4 統合結果



(a)補正前 (b)補正後

図6 マッピング結果



(a)対象部分 (b)補正なし (c)補正あり

図7 テクスチャの継ぎ目部(拡大図)

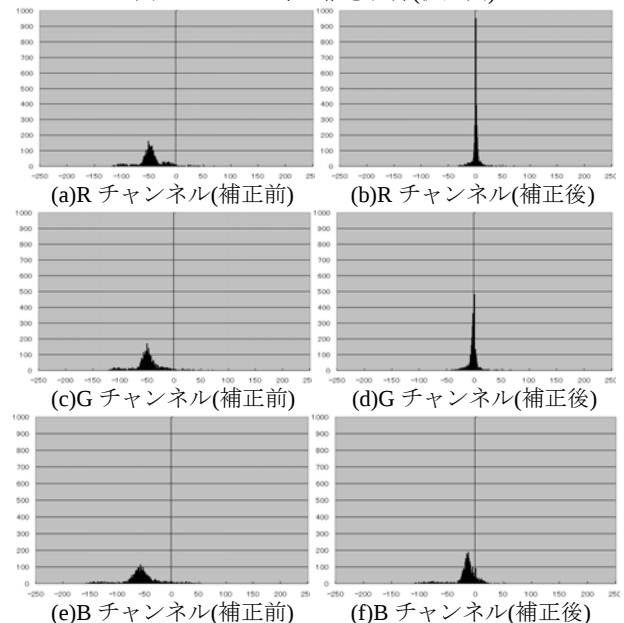


図8 オーバーラップ部における差分のヒストグラム

(横軸：画素値の差、縦軸：頻度)

- [4] 篠崎めぐみ, 梅田和昇, ギー・ゴダン, マーク・リュウ, "距離濃淡画像を用いたカラー画像の輝度補正", MIRU2005, IS3-121, pp.1173-1180, 2005.7.
- [5] 草薨真人, 篠崎めぐみ, 梅田和昇, ギー・ゴダン, マーク・リュウ, "距離濃淡画像を用いた実物体の三次元モデリングシステム～全方位カラーモデルの生成～", DIA2008, I2-11, pp.253-258, 2008.3.
- [6] 梅田和昇, ギー・ゴダン, マーク・リュウ, "こう配拘束と距離濃淡画像を用いた距離画像とカラー画像のレジストレーション", 信学論, Vol.J88-D-II, No.8, pp.1469-1479, 2005.8.