

距離濃淡画像を用いた実物体の3次元モデリングシステムの構築 ～全方位カラー3Dモデルの生成～

草薙 真人[†] 篠崎 めぐみ[‡] 梅田 和昇^{*}

[†] 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

[‡] 株式会社 小森コーポレーション 〒130-8666 東京都墨田区吾妻橋 3-11-1

^{*} 中央大学理工学部 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

E-mail: [†] kusanagi@sensor.mech.chuo-u.ac.jp, ^{*} umeda@mech.chuo-u.ac.jp

あらまし 本論文では、複数枚の距離濃淡画像とカラー画像を用いた実物体の3次元モデリングシステムを提案する。従来のように物体の形状や色を手動でモデリングするのではなく、能動型距離画像センサでの距離画像取得時に反射光強度の配列として得られる距離濃淡画像の特徴を利用することにより3Dモデルの自動生成を実現する。実験により、本法の有効性を検証し、全方位カラー3Dモデルの生成を行う。

キーワード 距離画像, カラー画像, 距離濃淡画像, 3Dモデル, テクスチャマッピング

1. 序論

近年、実物体を観察することによりその物体の3Dモデルを自動的に生成する試みがさかに行われている[1][2]。中でも、物体の3次元幾何形状を表す距離画像に、実写画像をテクスチャとして貼り付けるテクスチャマッピングは、写実性の高い3Dモデルを迅速かつ容易に生成できるという利点を持つ。しかし、このとき生成される3Dモデルの色情報は、物体本来の色とは異なり、カラー画像撮影時の照明の影響を受けたものとなっているため、モデルの見えに違和感が生じるという問題がある。また、距離画像を取得するレーザレンジファインダやカラー画像を取得するデジタルカメラは、ある1視点からの情報しか取得出来ないため、生成した3Dモデルもある視点からの断片的なモデルとなり、実物体を忠実に再現したとは言えない。

これまでに我々は、距離濃淡画像の輝度値を光の反射モデルを用いて補正し、その補正した距離濃淡画像を用いてカラー画像を補正することで、正しい色情報を持った3Dモデルを生成してきた[3]。本論文ではこの手法を拡張し、複数視点から撮影された距離濃淡画像とカラー画像を用いて全方位のカラー3Dモデルを生成する3次元モデリングシステムを構築する。

2. システムの概要

本システムは、モデルの3次元幾何形状を表す輝度情報付距離画像の統合処理と、モデルの見えを表すカラー画像の輝度補正からなる。まず、これらの処理の規範となる距離濃淡画像の輝度補正を行う。取得した画像は光源や面の傾きなどにより生じる陰影やハイライト成分を含んでいるため、これらを除去することで正しい輝度値を持った補正距離濃淡画像を作成する。この補正距離濃淡画像の輝度値にテクスチャとなるカラー画像の輝度値を従わせることで、正しい輝度を持った補正カラー画像を生成する。また、物体の幾何情報と輝度情報を持つ輝度情報付距離画像を統合することにより、全方位3Dモデルを生成する。最後に、全方位3Dモデルに対して補正カラー画像をテクスチャマッピングすることで、全方位カラー3Dモデルを得ることが出来る。

3. カラー画像の輝度補正

3.1 距離濃淡画像の輝度補正

能動型距離画像センサにより観測された距離濃淡画像の輝度値は、センサと各測定点との距離や測定点における法線ベクトル、カメラのガンマ値やセンサ感度のばらつき等の影響を受けるため、これらを補正する。

また、距離濃淡画像中の物体表面には、表面のつやや面の傾きにより鏡面反射成分が生じるため、これを除去する必要がある。本論文ではこの鏡面反射成分の除去において、代表的な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_d は拡散反射成分、 α は光源ベクトル $\mathbf{L}$ と視線ベクトル $\mathbf{V}$ とのなす角の二等分ベクトル $\mathbf{H}$ が法線ベクトル $\mathbf{N}$ となす角である。 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り、 k と σ を求めれば、鏡面反射成分を除いた物体の色を表す拡散反射成分のみを抽出することができる。Fig.1にTorrance-Sparrowモデルの概念図を示す。

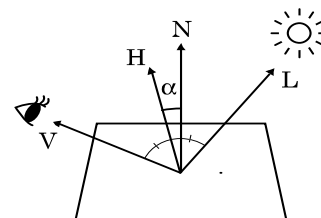


Fig.1 Torrance-Sparrow model

3.2 カラー画像への反映

距離濃淡画像に対して行った補正結果をカラー画像へ反映させるために、まず両画像のレジストレーションを行う。本論文では[4]の手法を適用する。本手法は、カラー画像平面に投影された距離濃淡画像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。全方位3Dモデルと補正カラー画像のレジストレーション時にも本手法を拡張して利用する。

次に、距離濃淡画像の各点をカラー画像平面へ投影し、距離濃淡画像の輝度値 I_d とカラー画像の輝度値 I_c の比 $c = I_d/I_c$ を計算する。この輝度比の配列にパラメトリック曲面のひとつであるBスプライン曲面を当てはめることによって、点間のデータを補間し、カラー画像の各画素における補正係数配列を算出する。この算出した補正係数配列をカラー画像のRGB各チャンネルの画素値に乗算することで、カラー画像の輝度補正を行う。

4. 輝度情報付距離画像の統合

物体の幾何形状の取得にはレーザレンジファインダがよく用いられるが、取得される距離画像はモデルをある1視点から見た断片的なものとなり、視点から隠れている部分の形状は取得出来ない。そのため、観測物体の全方位モデルを得るためには、異なる視点から撮影した複数枚の距離画像が必要になる。

異なる視点から撮影された距離画像は、それぞれの視点に依存した座標系で表現されているため、相対的な位置関係を求める位置合わせが必要である。この位置合わせされた複数枚の距離画像をひとつのモデルに統合することにより、観測物体全体を表現した全方位モデルを生成することが出来る。

本研究では、InnovMETRIC社製のPolyWorksを用いてこれらの処理を行う。

5. 3Dモデル生成実験

提案手法を用いて3Dモデルの生成実験を行った。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と走査レールPLM300からなるシステムを用いた。取得枚数は底面を除く計5枚である。

カラー画像の取得にはNikon製のデジタルカメラD70を用い、RAW形式で取得した。画素数は3008×2000である。距離濃淡画像とほぼ同視点から計5枚取得した。

5.1 カラー画像補正

Fig.2(a)に取得した距離濃淡画像の一例を、Fig.2(b)にその距離濃淡画像に対して補正をかけた結果を示す。このとき、式(1)における k と σ の値は実験的に求め、取得した全ての画像において $k=0.402$ 、 $\sigma=0.154$ とした。これらを見てみると、陰影の除去されたような濃淡分布が得られていることが分かる。また、形状が変化する周辺部に生じた鏡面反射成分が軽減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簡易的なものであったが、比較的良好な結果が得られている。

Fig.2の距離濃淡画像とほぼ同視点から取得したカラー画像をFig.3(a)に、そのカラー画像に対して補正をかけた結果をFig.3(b)に示す。これを見ると、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。

5.2 輝度情報付距離画像の統合と

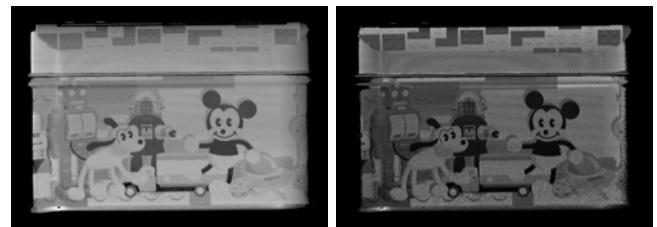
全方位カラー3Dモデルの生成

PolyWorksを用いて補正した輝度情報付距離画像を統合した結果をFig.4に示す。Fig.4より、全方位モデルが生成出来ていることがわかる。また、画像の継ぎ目部分もさほど目立たず、補正が有効に働いていることがわかる。

Fig.5に補正カラー画像をテクスチャマッピングした全方位カラーモデルを示す。Fig.5を見ると、異なる照明環境で撮影されたテクスチャを貼り付けることにより生じる境界線が軽減されており、補正の効果が見てわかる。しかし、カラー画像の補正時にテクスチャの周辺部にデータの欠損が生じるため、テクスチャマッピングを行うとテクスチャの不連続部が生じる。この問題は不連続部分にテクスチャを増やすことで解決できるが、その分手間や計算コストも増えるため、補正段階でのデータの欠損をなくし、テクスチャを増やさないことが理想的である。

6. おわりに

本論文では複数枚の距離濃淡画像とカラー画像を用いて実物体をモデル化する手法を提案した。3次元モデルのテクスチャとなるカラー画像を距離濃淡画像の特徴を用いることで補正し、撮影時の照明の影響を除去したカラー画像を作成した。また、輝度情報付距離画像を統合することで、物体の幾何形状と各頂点の輝度情報を持つ全方位モデルを生成した。その全方位モデルに対して照明の影響を除去したカラー画像をテクスチャマッピングすることで、全方位カラー3Dモデルを生成した。



(a)Range intensity image

(b)Correction Result

Fig.2 Correction of range intensity image



(a)Color image

(b)Correction Result

Fig.3 Correction of color image



Fig.4 Omnidirectional 3D model



Fig.5 3D model with corrected color texture images

今後の課題としてはカラー画像補正時のデータ欠損の解消や補正結果の定量的評価、テクスチャ同士を滑らかに繋ぐブレンディング処理、システムの簡略化などが挙げられる。

参考文献

- [1]倉爪亮他：“Great Buddha Project-文化遺産のデジタル保存”，第19回日本ロボット学会学術講演会予稿集，1B17,pp.23-24, 2001.9
- [2]運天弘樹他：“画像間の色調連続性を保持した3次元幾何モデルのテクスチャリング手法”，MIRU2004, I, pp.237-242, 2004.7
- [3]篠崎めぐみ他：“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.
- [4]梅田和昇他：“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”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J88-D-II, No.8, pp.1469-1479, 2005.8.