

全周 3 次元モデル生成のための複数テクスチャのシームレスな合成手法

猪瀬 健二[†] 榎本 和史[†] 川崎 洋[†] 古川 亮^{††}

[†] 埼玉大学工学部情報システム工学科 〒 338-8570 さいたま市桜区下大久保 255

^{††} 広島市立大学情報科学部情報メディア工学科 〒 731-3194 広島市安佐南区大塚東三丁目 4 番 1 号

E-mail: †{inose,enomoto,kawasaki}@cgv.ics.saitama-u.ac.jp, ††ryo-f@cs.hiroshima-cu.ac.jp

あらまし 本論文では、ビデオカメラとプロジェクタを用いた 3 次元計測システムを利用し、対象物体の全周形状を生成する際、シームレスな全周テクスチャを生成する手法を提案する。全周形状は計測対象物体を回転台に載せ回転させて複数回計測を行い、それを 1 つに統合することで獲得する。各計測ごとに見える方向や光源環境などが相対的に変化するため、撮影画像上における物体表面の輝度は変化し、複数回計測したテクスチャを単純に統合するだけでは、その継ぎ目部分にテクスチャの不連続が生じる。そこで、本論文では、距離画像、カラー画像を用いたピクセルベースの表面反射特性パラメータの推定により視点依存による輝度変化を減少させると同時に継ぎ目部分において距離画像を利用した重みつきアルファ値を設定することで、違和感のないシームレスな物体の全周テクスチャ画像の生成を実現する。また、本手法によって得られるテクスチャとアルファ値によって、複数形状を統合しなくともシームレスなレンダリング結果を生成することが可能となる。

キーワード 全周形状獲得, 鏡面拡散反射分離, テクスチャ合成

Seamless texture synthesis method of multiple view images for entire 3D shape modeling

Kenji INOSE[†], Kazufumi ENOMOTO[†], Hiroshi KAWASAKI[†], and Ryo FURUKAWA^{††}

[†] Department of Information and Computer Sciences, Faculty of Engineering, Saitama University,
Shimo-Okubo 255, Sakura-ku, Saitama, 338-8570 Japan

^{††} Department of Computer Science, Hiroshima City University, Ozuka-higashi 3-4-1, Asaminami-ku,
Hiroshima, 731-3194 Japan

E-mail: †{inose,enomoto,kawasaki}@cgv.ics.saitama-u.ac.jp, ††ryo-f@cs.hiroshima-cu.ac.jp

Abstract In this paper, we describe a seamless texture synthesis method of multiple view images for entire 3D shape modeling using a 3D measurement system which consists of a single video camera and a projector. To acquire the entire shape of the object, we use a rotation table and scan the object several times by rotating it. Since color of the object changes dependent on the camera view direction, simple integration of textures results in discontinuities between textures. In this paper, we propose an efficient method to achieve seamless integration of textures by estimating albedo for each pixels using range and color images, and blending them using weighted alpha value near seams. In addition, multiple models can be rendered seamlessly without integrating them by using the estimated albedo and alpha values.

Key words Entire shape acquisition, Separation of specular and diffuse component, Texture synthesis

1. はじめに

最近 3 次元計測システムを用いて多くの現存する物体を計測し、3 次元モデル化することが良く行われるようになってきており、様々な手法やシステムが提案され実際に用いられている [1] [2]。その際、レーザやプロジェクタなどを利用したアク

ティブ方式の 3 次元計測システムが精度や効率の面で利用されている。一般にこのようなシステムでは一度の計測では一方向から見える部分の形状しか計測することができないため、異なる視点から獲得した複数形状の位置合わせを行うことで全周形状を獲得することが行われる。このような複数形状の計測手法としては、複数回の計測装置を用いたり、対象物を動かす等の

手法がある．こうして得られた複数の3次元データを，互いの相対的な位置情報を利用して位置合わせを行うことで全周形状に統合する．このうち，テクスチャも同時に取得可能なシステムにおいて複数回計測したテクスチャを統合し全周のテクスチャを合成することが行われている．ところが，単純な合成手法では，その継ぎ目の色が不連続になるという問題が発生する．これは，それぞれの計測ごとに，撮影したテクスチャが画像撮影時の照明変化の影響を受けるためである．照明の影響を解消する手法としては，撮影した画像のカラーヒストグラム解析による鏡面反射成分の分離手法 [3] や，ハイライトが観測されないような環境で一度撮影し，その輝度勾配を利用する手法 [4]，様々な高周波パターンを投影し，観測することで反射成分を分離する手法 [5] などが提案されている．特に，幾何形状が既知の時，画像中に観察された物体表面の明るさをもとに物体の反射特性や画像撮影時の光源環境などの各パラメータを効率的に推定する方法や，対象物の物体色を忠実に再現する方法が提案されている [6] [7] [8] [9] ．

また，各視点より撮影した複数のテクスチャ画像を違和感なく合成する手法として，幾何形状のエッジとテクスチャ画像のエッジを位置合わせすることによってテクスチャの模様などのつなぎ合わせを行う手法 [10] や，各テクスチャ画像の中から，サンプリング密度が高いものの視点のテクスチャ画像を利用する手法 [11]，形状の物体表面法線とカメラ視点からの視線方向との成す角が最も小さいものの視点のテクスチャ画像を利用する手法 [12] などがある．

本論文では計測手法として，プロジェクタカメラシステムによる空間コード化法 [13] を用いて，テクスチャのシームレスな統合を実現する．このようなシステムでは距離画像として形状が取得できるためピクセル単位での3次元情報および光源の位置情報が獲得でき，これを用いることでピクセルベースでの物体色の推定が実現できる．

また，提案手法は複数形状の重なり部分において，滑らかに変化するアルファ値をテクスチャに設定することで，複数形状を1つに統合処理することなく，簡易に全周形状をテクスチャなどの不連続なく表示することができる．

2. システムの概要

2.1 3次元計測システムの構成

提案する手法では，物体の幾何情報と光源の位置情報によるテクスチャの輝度補正を行う．また，テクスチャ統合において，不連続の影響を軽減するために，その不連続の発生に影響がある幾何形状を考慮してアルファ値を設定する．そこで，本論文では，実装にあたり，物体の3次元情報および光源の位置情報が密に取得することが可能であるカメラとプロジェクタ各1台ずつで構成された3次元計測システムを用いる (図1)．これは，対象物体にプロジェクタとカメラを向けプロジェクタから光パターンを投影し，これをカメラで撮影し解析することで3次元形状復元する手法である．

複数の形状を計測する際には，対象物体を回転台に載せて計測することにより，全周の形状を取得する．各計測で得られる

形状は，テーブル上に取り付けられたLEDを特徴点として自動で位置合わせされる．

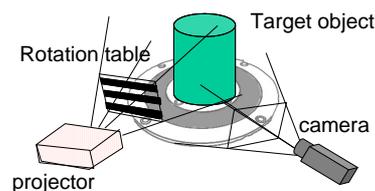


図1 3次元計測システムの構成

Fig. 1 Configuration of the 3D measurement system.

2.2 3次元計測から全周テクスチャ生成の流れ

計測は対象物体を回転台に載せて計測を行う．全周テクスチャ生成の概要を図2を用いて説明する．カメラ，プロジェクタを任意の位置に固定し，回転台を回すことで，複数視点からの計測を行う．各視点における3次元計測により，計測視点ごとの距離画像とテクスチャ画像を取得する．次に，取得したテクスチャ画像に対して，テクスチャ合成時の継ぎ目の原因の1つである陰影や鏡面反射の除去を行い，視点依存のないアルビドテクスチャを生成する．同時に複雑な反射特性などの理由により，正しく陰影や鏡面反射の除去ができない領域における不連続の影響を軽減するためアルファ値を重なり部分に自動生成する．最後に得られたアルビドテクスチャとアルファ値を用いてブレンド処理し，全周テクスチャを生成する．

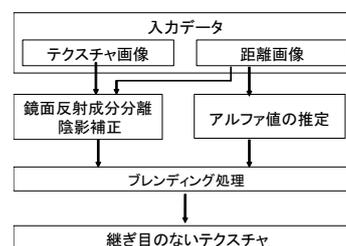


図2 全周テクスチャ生成の流れ

Fig. 2 Flow of texture Synthesis.

3. 鏡面反射成分分離および陰影の除去

3次元計測によって得られるデータの例を図3から図6に示す．これは2つの視点から計測したテクスチャ画像と距離画像である．これらを入力として計測対象物の拡散反射パラメータの推定および鏡面反射成分の分離，陰影の除去を行なう．

3.1 反射特性モデル

本研究では観測される物体表面の輝度値は拡散反射成分と鏡面反射成分の和で表現される2色性反射モデルを仮定し，本手法では，拡散反射パラメータに関しては以下のLambertモデルを利用する．拡散反射は視点位置によらず一定である．

$$I_d = K_d L \cdot N \quad (1)$$

ここで， I_d は拡散反射成分， N は物体表面の法線方向ベクトル， L は光源ベクトル， K_d は拡散反射パラメータである (図7



図 3 視点 0, テクスチャ画像
Fig. 3 View0, texture image



図 4 視点 0, 距離画像
Fig. 4 View0, depth image



図 5 視点 1, テクスチャ画像
Fig. 5 View1, texture image



図 6 視点 1, 距離画像
Fig. 6 View1, depth image

参照). また, 鏡面反射成分については以下の式 (2) で表される Trance-Sparrow モデルを利用する. 鏡面反射は視点位置により大きく値が変化する.

$$I_s = K_s \frac{\exp \frac{-\alpha^2}{\sigma^2}}{N \cdot E} \quad (2)$$

ここで, I_s は鏡面反射成分, E は視線方向ベクトル, N は物体表面法線ベクトル, L は光源ベクトル, K_s は鏡面反射パラメータである (図 7 参照). σ は物体表面の粗さ, また, H は L と E のなす角の 2 等分ベクトルであり, α は H と N のなす角で, $\alpha = \cos^{-1}(N \cdot H)$ である.

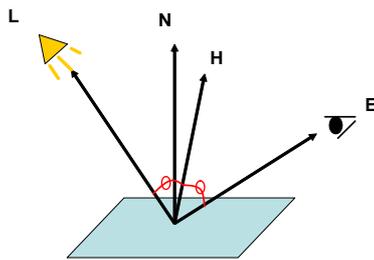


図 7 光源と視点の関係

Fig. 7 Relationship between light source and view direction

また, 式 (2) から明らかなように鏡面反射成分は $N \cdot H$ の値が大きい領域で強く観測され, 一方で, $N \cdot H$ が小さい領域では, ほとんどその影響を無視できる程小さくなるため, 後者の領域を用いて効率良く拡散反射パラメータを推定することができる.

3.2 分離手法の概要

処理の概要を図 8 を用いて述べる. 一般に同じ材質であれば物体表面は同じ反射特性を持つため, 各材質ごとにそれぞれ拡

散反射パラメータを推定すると効率が良い. そこで色相によるセグメンテーション処理により, それぞれの領域に分離する. また, 鏡面反射成分のないデータを用いて拡散反射パラメータを推定するために, 3.1 節で述べた性質を利用して $N \cdot H$ の大きな領域をはじめに検出し除外しておく. これらの処理により各物体ごとの拡散反射パラメータが求まるため, これを用いて鏡面反射成分の分離や陰影の除去を行う.

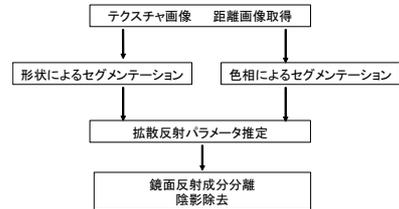


図 8 鏡面反射成分分離, 陰影除去の流れ

Fig. 8 Flow of removing specular and unshading.

3.3 形状によるセグメンテーション

拡散反射パラメータ推定に利用する領域は鏡面反射の影響が無視できる画素のみを用いると推定するパラメータが少なくすみ, 効率が良い. そこで 3.1 節で述べたように鏡面反射ピークとなる $N \cdot H$ の値が大きくなる画素領域を除外する. 提案手法では距離画像とテクスチャ画像が完全に対応しているため, 距離画像を用いてこれを計算することでピクセル単位でのセグメンテーションが実現できる. 具体的には当該ピクセルに対応する距離画像において 7×7 近傍の最大 48 点を用いて主成分分析することで法線を計算し, これを用いて $N \cdot H$ を計算している.

3.4 色相によるセグメンテーション

画像上のピクセル点を色相に基づき領域番号 λ を次式のように付与する.

(i) 3 次元点がないときはラベリングをしないため

$$\lambda(x) = \text{nodata}$$

(ii) 3 次元点があるときで

a) $L \cdot N > t_{LN}$ かつ $I < t_I$ のとき, 拡散反射成分が小さく, 物体色は黒と考えられるためラベリングをしない.

$$\lambda(x) = \text{nodata}$$

b) $S > t_S$ のとき, 色相を n 分割してラベリングを行う.

$$\lambda(x) = i \quad (i = 0, 1, \dots, n-1)$$

c) $S < t_S$ のとき,

c.1) $N \cdot H < t_{NH}$ のとき鏡面反射成分が無視でき, かつ彩度が小さいため, 物体色は白と考えられるため

$$\lambda(x) = \text{white}$$

c.2) $N \cdot H > t_{NH}$ のとき鏡面反射成分の影響が強いため後述の補間を行うものとし, 以下のようにラベリングする.

$$\lambda(x) = \text{specular}$$

3.5 拡散反射パラメータ推定

3.4 節で分割されたセグメントから 3.3 節で得た領域を除外し, 拡散反射パラメータを求める. 各ピクセルにおけるパラメータは式 (1) により

$$K_d = \frac{I}{L \cdot N} \quad (3)$$

として計算されるため、同じ領域に含まれる全てのピクセルについて計算し、ヒストグラムのピークを拡散反射パラメータとすれば良い。こうして得られた K_d を用いて再び各画素の輝度値を計算し、原画像から差し引くことで、鏡面反射成分を分離することができる。

3.6 ハイライト領域の補間

3.4 節で述べたセグメンテーションによってラベリングされた点の中で、 $\lambda(x) = specular$ である画素 x は、鏡面反射成分の影響を強く受けているため正しく拡散反射パラメータを推定できない。そこで、画素 x に対応する、他の視点から計測した画像上での画素を探索し、その画素が *specular* とラベリングされていないものを利用して、画素 x の拡散反射パラメータを推定する。対応点探索は、各視点の距離画像から 3 次元点群を計算し、これを注目している視点から見た画像に投影することで実現できる。図 10 は図 9 で示す視点 5 の画像を視点 0 か



図 9 視点 5, 撮影画像

Fig. 9 Captured image from view 5



図 10 視点 5 の点を視点 0 に射影した画像

Fig. 10 Projected image to view 0 from view 5

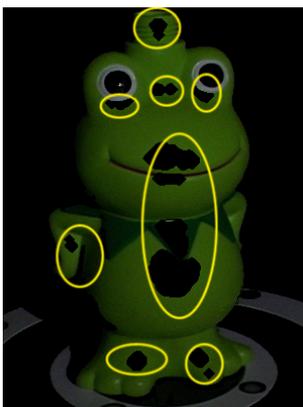


図 11 ハイライト領域除外画像 (黄色い楕円の内部)
Fig. 11 Specular excluded image (inside yellow circle)



図 12 射影した画像を重ねた画像
Fig. 12 Overlapped image

ら見た画像に変換したものである。また図 11 で対象物の正面は鏡面反射成分が強いので、拡散反射の推定領域から除外され

ている。そこで、図 10 と図 11 を重ねることで図 12 のように、鏡面部分のアルビドを得ることができる。

4. アルファ値の設定

4.1 設定手法の概要

3 章で述べた鏡面反射成分分離や陰影除去を行なうことで求めた拡散反射パラメータを用いてるだけでは、ノイズなどによる推定誤差の影響により、統合時に不連続が発生する。この原因として主に次の 3 つが考えられる。図 13 を用いてこれを説明する。(A) 統合後の形状とテクスチャのずれ、(B) サンプリング不足によるテクスチャの歪みや不鮮明化、(C) 拡散反射成分が小さいことにより、拡散反射パラメータが正しく推定されない、などである。これらのうち (A) および (B) は形状のへり

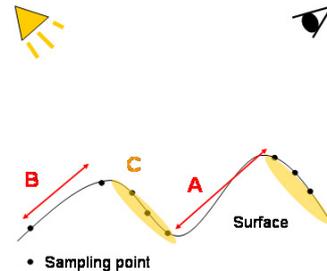


図 13 統合の不連続発生の原因

Fig. 13 Reason of discontinuities on overlapped area

の部分に発生するため、統合時、その部分で突然色が変化することになり深刻な影響を及ぼす。そこで (A) および (B) の影響を軽減することを考える。具体的には (A) および (B) が発生しやすい形状のへり部分のアルファ値 (不透明度) が小さくなるようにアルファ値を設定する。

4.2 3次元エッジの検出

4.1 節で述べた不連続が発生する原因のうち、(A) および (B) は物体のデプス値が突然変化するところに現れることから、距離画像上でエッジ検出することでその領域を自動選択することができる。エッジ検出方法としては、距離画像の濃淡の変化に対して、Sobel フィルタや Laplacian フィルタなどのエッジ抽出フィルタを用いることによって検出が可能である。

4.3 アルファ値の計算方法

見た目の不連続を無くすためには、4.1, 4.2 節で述べた (A), (B) の影響を軽減することが効果的である。そこで、エッジ部分から物体内部に向かってアルファ値が増加するようにアルファ値を設定する。そのために、(A), (B) の影響を受けやすいエッジ部分までの距離および、そのエッジの強度に応じてアルファ値を与える。エッジの強度を考慮することによって、直方体の稜線などをエッジとして検出できる一方で、該当しない部分のアルファ値を下げることに設定することができる。図 14 はエッジの形状によってアルファ値がどのように設定されるかを表したものである。アルファ値をエッジ部分から物体内部に向かって段階的に変化させるためには、エッジ抽出画像からのモーフィング処理を行うことによって実現できる。本手法では、距離変換と同様の走査処理をエッジ抽出画像に施すことに

よってアルファ値を算出した．まず距離画像に対してエッジ抽出フィルタを施して得られる画像 $F = \{f_{uv}\}$ を生成する． u, v はそれぞれ，画像の横，縦の画素値である． f_{uv} はそのエッジの強度に応じて 0~1 の値が各画素に代入されている．次に以下のような画像 $G = \{g_{uv}\}$ を生成する．

$$g_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{3次元点なし} \\ 1 - f_{ij}, & f_{ij} > 0 \text{ かつ 3次元点あり} \\ 1, & f_{ij} = 0 \text{ かつ 3次元点あり} \end{cases}$$

この画像 G に対して距離変換 [14] と同様の走査処理を施すことによって 2 次元画像上の各画素にアルファ値を代入したアルファマップを取得する．

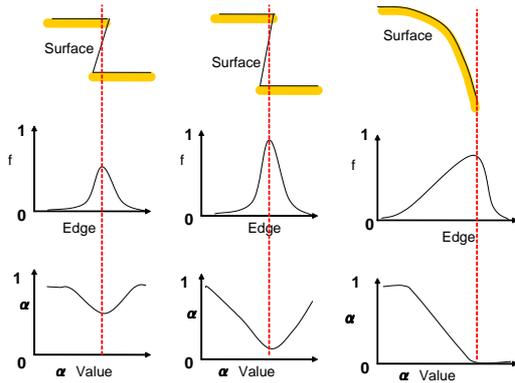


図 14 エッジを考慮したアルファ値の設定

Fig. 14 setting alpha values considering edge shape

5. 形状統合によるテクスチャの統合

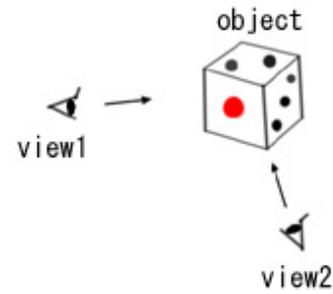
4 章までの手法によって得られるテクスチャとアルファマップを用いれば，特に形状を統合しなくともそれぞれの形状を同じ座標系にレンダリングするだけでグラフィックライブラリ処理によるアルファブレンディング処理によりテクスチャの不連続を解消することができる．形状統合は今も盛んに研究されているものの，未だにコストのかかる処理の 1 つであり，その処理をすることなく見た目に違和感のないシームレス全周形状を作成できるのは本手法の大きなメリットの 1 つと言える．一方で 3 次元モデルを統合し，統合テクスチャを取得した方が汎用性の面から便利なことも多い．そこで，形状を統合した 3 次元ポリゴンのためのテクスチャ合成を以下の手順で行う．

(1) 統合ポリゴンから，そのポリゴンのテクスチャおよびアルファ値を各視点ごとに取得する.(図 15(a)) これにより図 15(b), (c) のようなテクスチャとアルファマップの画像セットが各視点ごとに得られる．

(2) それぞれの視点のテクスチャとアルファマップにつき積和を演算し，最後にアルファ値で正規化する.(図 16) これにより統合されたテクスチャを得ることができる．

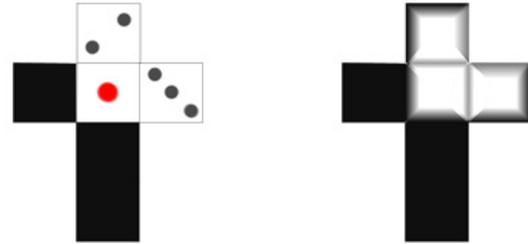
6. 実験

対象物体を回転台にのせ，回転しながら複数回計測し，得られた全周 3 次元形状のための統合テクスチャを生成する．入力



(a) 視点と物体の関係

(a) Relationship between view direction and object



テクスチャ
texture

アルファマップ
alpha map

(b) view1
(b) 視点 1



テクスチャ
texture

アルファマップ
alpha map

(c) view2
(c) 視点 2

図 15 テクスチャ取得の概要

Fig. 15 Flow of acquisition of textures

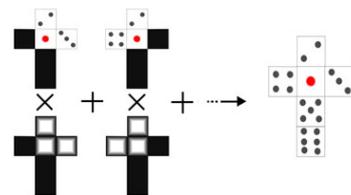


図 16 テクスチャのブレンディング

Fig. 16 Blending of textures

画像は図 3~図 6 および図 17 である．

6.1 鏡面反射領域の除外

3.3 節の手法で拡散反射パラメータ推定に利用しない領域を除去する．図 17 の計測シーンにおける結果を図 18 に示す．拡散反射パラメータの推定に利用しない鏡面ピーク領域を赤色で示してある．空間コード化法により得られた距離画像を用いることで，検出領域が鏡面反射ピーク部分とほぼ一致していることが分かる．



図 17 テクスチャ画像
Fig. 17 Texture image

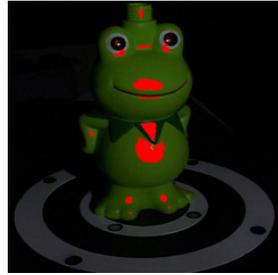


図 18 鏡面反射ピーク部分
Fig. 18 Specular reflection area

6.2 色相によるセグメンテーション

テクスチャ画像を 3.4 節の手法で色相に基づきセグメンテーションを行った結果を図 19 に示す。セグメンテーション結果をラベルごとに別の色で表示してある。図 19 より、計測対象物である蛙の襟部分と頭、胴体部分とに領域わけがなされているのが確認できる。

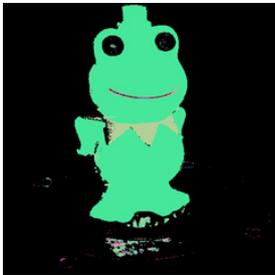


図 19 領域画像
Fig. 19 Segmented image



図 20 アルビド
Fig. 20 Albedo

6.3 拡散反射パラメータ推定

3.5 節の手法により各シーンの各セグメントごとに拡散反射パラメータの算出を行った。輝度値の値域は 0 から 255 である。こうして求めたアルビドを図 20 に示す。また、拡散反射成分を図 21 に、鏡面反射成分を分離した画像を図 22 に示す。見



図 21 拡散反射成分
Fig. 21 Lambertian reflection



図 22 鏡面反射成分
Fig. 22 Supecular reflection

た目に正しく分離できていることが分かる。また図 22 を見ると計測対象物と背景との境界部分にノイズが多く見られる。これは相互反射や形状の誤差によるものと考えられる。これらの影響による不連続は、アルファ値の推定により解消することができる。

視点 3 における計測対象物 (蛙) の後頭部を横切る線上 (図

23(a)) の RGB 別の輝度値をプロットしたものを図 23(b) ~ (d) に示す。点線で表されているのが観測された輝度値であり、実線で表されているのが、推定した拡散反射成分である。図より

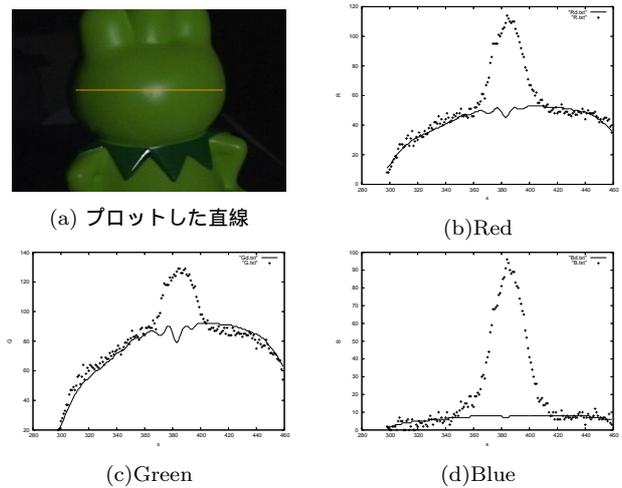


図 23 推定値と実測値の比較

Fig. 23 Comparison between estimated parameter and actual value

鏡面反射のない部分において正しく推定できていることが分かる。

各視点ごとに算出したアルビドをセグメンテーションで分割された領域ごとにグラフにしたものを図 24 に示す。視点 0 が

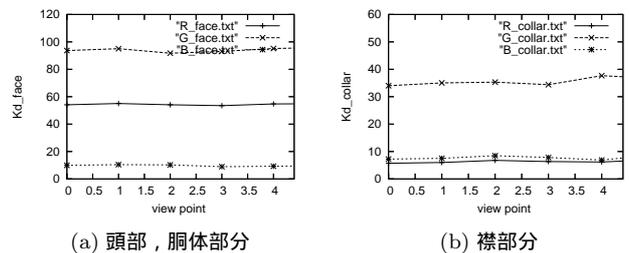


図 24 視点によるアルビドの変化

Fig. 24 Albedo of each view direction

ら 5 まで襟部分、顔、胴体部分においてほぼ同じ値が求まっている。本手法では必ずしも正しい値が求まっているとは限らないが、視点に依らず一定のアルビドが求まっており、シームレスな統合テクスチャの合成を実現できることが分かる。

6.4 アルファ値の推定

4 章の手法を用いて、各計測シーンごとの対象テクスチャのアルファマップを作成する。図 26 は 4.2 節の手法により距離画像より 3 次元エッジを抽出した画像である。奥行きの変化が大きいところほど白く表示されている。図 27 は抽出された 3 次元エッジ抽出画像を基に 4.3 節のモーフィング処理によって生成したアルファ値をグレースケールで表したものである。エッジの部分から内側に向かうに従い、透明度が減少して (色は白くなって) いるのが分かる。



図 25 視点 0, 距離画像

Fig. 25 View0, depth image

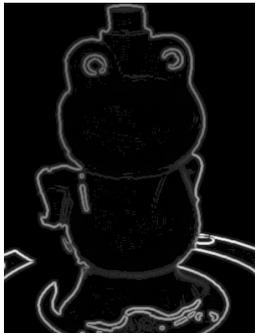


図 26 3次元エッジ抽出画像

Fig. 26 Edges detection result



図 27 アルファマップ

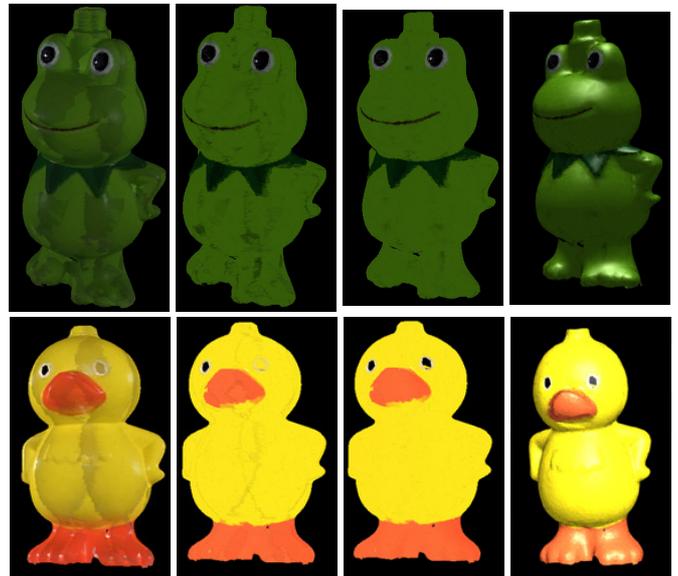
Fig. 27 Alpha map

6.5 全周統合結果

提案手法により全周のテクスチャ統合した結果を図 28 に示す。(a) は陰影補正なし, アルファブレンディング処理なし, (b) は提案手法による陰影補正あり, アルファブレンディング処理なし, (c) は提案手法による陰影補正あり, アルファブレンディング処理ありにおける, それぞれの統合結果である。また, (d) は (c) に対して光源環境などを仮想的に設定して CG レンダリングした全周形状モデルである。提案手法により, 継ぎ目のないシームレスなテクスチャが生成でき, 任意の照明条件における現実感のあるレンダリング結果を得ることができた。しかし, アヒルの置物の統合結果では, 陰影補正処理において, 相互反射により, くちばしにアヒルの胴体の色が, 映りこんだ画像があったため, 色相によるセグメンテーションが正しく行われず, くちばし付近に違和感が残っていることが分かる。このような相互反射除去は今後の課題である。拡散反射成分による相互反射を考慮した反射特性推定手法であるラジオシティ法や鏡面反射成分の影響も考慮したフォトンマッピング法 [15] などの適用により, より正確な反射特性推定が可能と考えられる。

6.6 色数の多い物体での統合結果

以上の実験では, テクスチャがほぼ単色の物体を用いていたため, より物体色の多い計測対象物を用いて提案手法によるテクスチャ統合の実験を行った。実験結果を以下に示す。図 29, 図 30 が計測対象物であるプラスチック製のじょうろのおもちゃを撮影した画像である。図 33 から図 39 までが順に, セグメンテーション結果を色づけした画像, 距離画像, 3次元エッジ抽出画像, アルファマップ, アルビド画像, 別視点のアルビド画像, シェーディング画像, 拡散反射成分, 鏡面反射成分, 統合後の3次元モデルのレンダリング結果である。図 35, 図 36



(a) (b) (c) (d)

図 28 統合結果

Fig. 28 Integration result



図 29 テクスチャ画像

Fig. 29 texture image



図 30 テクスチャ画像 (別視点)

Fig. 30 another texture image



図 31 領域分割画像 (赤い部分は鏡面反射が強いとされた領域)

Fig. 31 Segmented image



図 32 距離画像

Fig. 32 depth image

を見ると, じょうろの側面のオレンジ色の部分のアルビドが異なっていることが確認できる。これは, オレンジ色の部分の材質が紙のため鏡面反射の分布がプラスチックなどに比べて広く, $N \cdot H$ が閾値よりも小さい領域でも鏡面反射の影響が無視できなかったためと考えられる。しかしながら図 39 の統合後の最終的なレンダリング結果を見ると, アルファブレンディング処理により, テクスチャの不連続はほとんど観測されず, 提案したアルファブレンディングによる合成手法が, 境界線の無いテクスチャ合成に有効に機能していることが分かる。

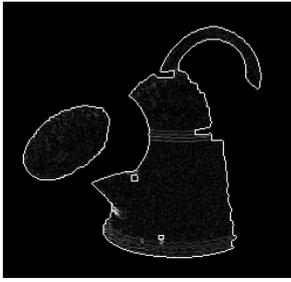


図 33 3次元エッジ検出画像
Fig. 33 Edges detection result

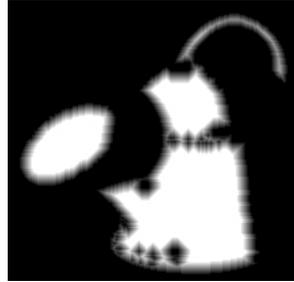


図 34 アルファマップ
Fig. 34 Alpha map



図 35 アルビド
Fig. 35 Albedo



図 36 アルビド (別視点)
Fig. 36 Albedo (another view)

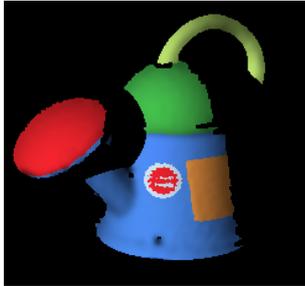


図 37 拡散反射成分
Fig. 37 Lambertian reflection



図 38 鏡面反射成分
Fig. 38 Supecular reflection



図 39 統合後のレンダリング結果
Fig. 39 Renderd image after integration



7. ま と め

本論文では、全周3次元モデル生成のためのシームレスな統合テクスチャの合成手法を提案した。これを実現するために空間コード化法による3次元計測システムを用いて、陰影補正および複数テクスチャの重み付きブレンドング手法を提案した。陰影除去、鏡面反射成分分離は計測によって得られるテクスチャ画像および距離画像を用いて物体表面の拡散反射パラメータを推定することによって実現した。また、鏡面反射成分および陰影を除去後に残る不連続をアルファブレンドング処

理により軽減することで、継ぎ目のない統合テクスチャを生成する手法を述べた。実際に3次元形状計測を行い提案手法を適応したところ、継ぎ目のない統合テクスチャを生成することができた。提案手法を用いれば、ユーザはパターンコード化法による3次元計測を、複数視点から行うだけで、テクスチャに継ぎ目のない全周モデルを獲得することができる。

謝辞 本研究の一部は、平成19年度SCOPE(戦略的情報通信研究開発推進制度)における「パーベイス3D Webコンテンツ実現のための研究開発」による。

文 献

- [1] 池内克史, 倉爪亮, 西野恒, 佐川立昌, 大石岳史, 高瀬裕, “The great buddha project - 対規模文化遺産のデジタルコンテンツ化”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, no.1, pp103-113, 2002.
- [2] M. Levoy, K. Pulli, B. Curless, S. Rusinkiewica, D. Koller, L. Pereira, M. Ginzton, S. Anderson, J. Davis, J. Shade, D. Fulk, “The digital michelangelo project: 3D scanning of large statues”, Siggraph 2000, pp131-144, 2000.
- [3] Karsten Schluns and Andreas Koschan: “Global and Local Highlight analysis in color images”, Proc. 1st Int. Conf. on Color in Graphics and Image Processing CGIP, pp.300-304, (2000).
- [4] A Agrawal, R Raskar, SK Nayar, Y Li: “Removing Photography Artifacts using Gradient Projection and Flash-Exposure Sampling”, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005.
- [5] Shree Nayar, Gurunandan Krishnan, Michael Grossberg and Ramesh Raskar: “Fast Separation of Direct and Global Components of a Scene using High-Frequency Illumination”, SIGGRAPH (ACM Transactions on Graphics), 2006.
- [6] S. Tominaga and N. Tanaka: “Estimating reflection paramerters from a single color image”, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 20, No. 15, pp. 58-66, September/Ocober 2000.
- [7] 原健二, 西野恒, 池内亮史: “透視投影と点光源下の鏡面反射からの光源位置と反射特性の推定”, 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.43, No.SIG11(CVIM5), pp 121-129, December 2002.
- [8] 宮崎大輔, Robby T. Tan, 原健二, 池内克文: “光学的アプローチに基づく現実世界のモデル化手法”, Computer Vision and Image Media 2003-CVIM-137, pp.19-26.
- [9] Xizohua Zhang, Kiichi Kobayashi, Suguru Saito, Masayuki Nakajima: “Weighted Separation of Surface Reflection of an Object Illuminated By Two Light Sources”, 映像情報メディア学会誌, Vol.57, No.1, pp.15, 2003.
- [10] 倉爪亮, 西野恒, Zhengyou, Zhang, 池内克史: “レーザーリフレクタンスとエピソード拘束を利用した複数テクスチャの同時アラインメント”, 「画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2002)」, pp.113-120, July 2002.
- [11] 岡田和也, 山下淳, 金子透: “ステレオ画像対を用いた視点変換画像の生成とその合成”, 精密工学会画像応用技術専門委員会サマーセミナー2006 テキスト, Vol.15, pp.105-108, August 2006.
- [12] C.Rocchini, P.Cignoni, C.Montani: “Multiple Textures Stitching and Blending on 3D Objects”, In 10th Eurographics Workshop on Rendering, pp. 127-38, June 1999.
- [13] Inokuchi, S., Sato, K., Matsuda, F.: “Range imaging system for 3-D object recognition”, In ICPR, pp. 806-808, 1984 1999.
- [14] 高木幹雄, 下田陽久, 新編 画像解析ハンドブック, pp. 1529-30, 東京大学出版会, 東京, 2004.
- [15] 町田貴史, 横矢直和, 竹村治雄: “実物体の仮想化のための相互反射を考慮した表面反射特性の推定”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004), pp. 1-9-14, July 2004.