

3次元モデル再構築のための 光源の影響を補正したテクスチャ合成

竹内 英人[†] 池内 克史[‡]

[†] ソニー株式会社 インフォメーション&ネットワーク研究所

[‡] 東京大学 生産技術研究所

あらまし 本報告では、複数視点からのレンジデータおよびテクスチャデータを用いた3次元モデルの再構築方法についての説明を行う。そのなかで、物体の光源の影響による見えの違いを補正したテクスチャ合成方法を提案する。完全拡散反射モデルを仮定し、対象物体と同じ環境下で撮影された参照物体を用いることで、対象物体の光源の影響を受けない物体本来の色を求める。この物体本来の色で合成を行い、再び光源の情報を付加することで3次元モデル用のテクスチャを生成する。

Texture Blending with Illumination Invariant Images for 3-D Model Reconstruction

Hideto Takeuchi[†] and Katsushi Ikeuchi[‡]

[†] Information & Network Technologies Laboratories, Sony Corporation

[‡] Institute of Industrial Science, University of Tokyo

Abstract In this paper, we describe a method for reconstructing 3-D model from multiple range and texture images, and propose a new texture blending method using illumination invariant images. Illumination invariant images are computed by comparing target object's images and a reference object's image captured under the same illumination condition. A texture of a reconstructed 3-D model is blended with illumination invariant images under the new illumination condition.

1 はじめに

近年、CG(Computer Graphics)技術の向上により、WWW(World Wide Web)上などで3次元モデルの表示及びリアルタイム操作を比較的容易に行えるようになっている。CGで作られた3次元モデル以外に、実際の物体を3次元モデル化して取り扱いたいという要望は高まっている。

実際の物体をセンシングし電子化する方法として、レンジセンサを用いて形状を測定し3次元モデルを再構築する手法 [1] [2] や、複数の方向から得られた画像からある視点の画像を作成する手法 [3] [4] [5] の研究が行われている。

形状を測定する手法では、複数視点方向から測定されたレンジデータを用いた3次元ポリゴンモデルの再構築に重点が置かれており、その再構築されたモデルにマッピングするテクスチャについての記述は少ない。一方、Image-based Renderingに代表される、複数視点方向から得られた画像からある視点の画像を作成する手法では、結果として得られるのは画像のみである。

本報告では、一般の3D-CAD (Computer-Aided design) で使用でき、VRML (Virtual Reality Modeling Language) などの3次元モデル記述フォーマットで記述できるような、3次元モデルおよびそれにマッピングされるテクスチャの作成を試みる。そこで、複数視点方向からのレンジデータから3次元ポリゴンモデルを再構築する手法、および複数視点方向からのテクスチャデータを合成し、モデルにマッピングするためのテクスチャを作成する手法について説明を行う。

複数視点方向から得られた画像を合成する場合、各画像における撮影時の光源の影響を無視することはできない。測定時のセンサおよび光源の位置、物体の形状などの条件により各視点における画像上の物体の輝度に変化する。そこで、本報告では、物体を完全拡散反射モデルと仮定し、センサ、光源を固定して対象物体を撮影した場合に、その光源の影響を補正し画像合成を行う方法を提案する。

また、レンジデータの位置合わせ方法について詳しく説明する。本報告では、レンジデータにテクスチャデータがマッピングされていることを前提としている。そのため、レンジデータの位置合わせは、テクスチャデータの位置合わせと連動する。テクスチャデータの位置合わせが不十分であると、合成されたテクスチャがぼける原因になるため、より精度

の高い位置合わせが求められる。

次章以降、テクスチャ付き3次元ポリゴンモデル再構築の方法について、作成順序に従い説明していく。

2 3次元モデル再構築

3次元ポリゴンモデルおよびそれにマッピングするテクスチャを作成する手順について説明する。

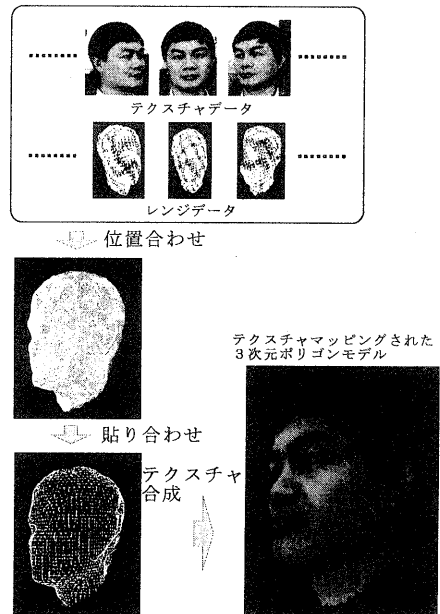


図 1: モデル再構築概略図

図 1 に示すように、3次元モデル再構築処理は、位置合わせ処理、貼り合わせ処理、テクスチャ合成処理の順に行われる。ここで、レンジセンサなどで測定された物体の形状データをレンジデータ、同時に測定された物体の輝度データをテクスチャデータと呼ぶ。

位置合わせ処理では、複数視点方向から撮影されたレンジデータの位置合わせを行う。レンジデータの位置合わせ処理であるが、レンジデータにマッピングされているテクスチャデータもそれに連動し位置合わせされる。本報告では、回転テーブルなどの測定位置方向を特定できる装置は使用しないことを前提としている。そのため、複数の視点方向から撮影された各レンジデータのワールド座標における位置関係を与える位置合わせ処理が必要となる。

レンジデータの位置合わせ手法として、隣り合う二つのレンジデータの位置合わせする手法 [13] [14] がある。この手法を用いて、複数のレンジデータの位置合わせを行う場合、終端に誤差が蓄積するなどの問題がある。一方、複数のレンジデータを同時に位置合わせする手法 [8] [6] を用いることで、これらの問題を解決することができる。本報告では、この手法を応用し、さらに、形状に特徴がないようなレンジデータの位置合わせを行う場合には、テキストチャデータを用いて調節を行う。

貼り合わせ処理では、複数の位置合わせされたレンジデータを統合し、実際に測定された物体の表面を表わす 3 次元ポリゴンデータを作成する。レンジデータの貼り合わせ手法として、隣り合うレンジデータを順次貼り合わせる手法 [1] と、複数のレンジデータをボリューム空間に展開して同時に貼り合わせる手法 [12] [2] がある。前者の手法では、順次貼り合わせを行うため、形状合成時のエラーが蓄積される可能性がある。後者は、同時にすべてのレンジデータを取り扱うことができるが、計算にかかるコストが高い。本報告では、作成されるモデルの精度を若干下げるなどの工夫をした上で、後者の手法を用いて貼り合わせ処理を行う。

テキストチャ合成処理では、複数視線方向から撮影されたテキストチャデータを合成して、3 次元ポリゴンデータにマッピングするためのテキストチャを作成する。本報告では、参照球体を用い、各テキストチャの光源による影響の補正を行ったテキストチャ合成を行う。光源の影響を補正する手法として、実環境の光源を測定し推定する手法 [9] [10] があるが、本手法では、光源そのものの測定は行わず、光源の影響を受けた参照物体の見えのみを用いて、光源の影響を受けない物体の色（物体色）を求めることができる。また、同様に、光源の影響を補正する手法として、物体色を求める手法 [11] があるが、本手法では、多数の画像を使用する必要はなく、物体を撮影した画像と同じ環境下で撮影した参照物体の画像の 2 枚のみから物体色を求めることができる。

3 レンジデータの位置合わせ

複数視線方向からのレンジデータの位置合わせ方法について説明する。

本報告では、撮影時に回転テーブルなど撮影位置方向を特定する装置を使用しないことを前提としている。位置の手がかりをつけるため、各レンジデー

タは隣り合うデータどうしにある程度重なりがあるように測定される。測定後のレンジデータは、撮影方向に対して測定面を向けた状態になっている。そのため、重なり合う部分を手がかりに、ワールド座標系に対する各レンジデータの位置関係を求める必要がある。

全くの初期状態では、GUI(Graphical User Interface) などで各レンジデータを配置する方法は有効である。しかし、3 次元データを GUI だけで精度よく位置合わせすることは難しい。そのため、計算処理による位置合わせ処理が必要になる。

本報告では、3 段階の位置合わせ手法を用いる。まず、初期位置合わせとしてレンジデータの形状の特徴を利用して大まかな位置関係を与える。次に、初期位置合わせ後のすべてのレンジデータを同時に処理することで、より精度の高い位置合わせを行う。最後に、テキストチャデータを利用し調整をおこなう。

なお、全くの初期状態のレンジデータに対しては、GUI を用いて重なり合う部分の指定を行うなどの作業が必要であり、その後、初期位置合わせが行われる。

3.1 初期位置合わせ

レンジデータの初期位置合わせ方法について説明する。

隣接するレンジデータの位置合わせを順次行うことで、ワールド座標系に対する各レンジデータのおおまかな位置関係を求める。

各レンジデータを S_0, S_1, \dots, S_{n-1} とする。レンジデータ S_i は、サンプル点 $\vec{x}_{i,k} (k=0 \dots m-1)$ からなる。また、各点は近傍の 3 点で三角メッシュを構成する。

隣接する S_i と S_j の誤差は、

$$\epsilon_i^2 = \sum_k \|(\mathbf{R}_j \vec{x}_{j,k} + \vec{t}_j) - \vec{x}_{i,k}\|^2 \quad (1)$$

で表わされる。この ϵ_i が十分に小さくなる回転行列 \mathbf{R}_j および並進ベクトル \vec{t}_j を求めることで位置合わせを行う。ここでは、Kawamura [14] の手法に従って処理を行う。

この結果、レンジデータ S_j はレンジデータ S'_j に変換される。レンジデータ S_j 上の点 $\vec{x}_{j,k}$ は、

$$\vec{x}'_{j,k} = \mathbf{R}_j \vec{x}_{j,k} + \vec{t}_j \quad (2)$$

に変換される。

S_0 と S_1 の位置合わせにより S'_1 を求め、次に S'_1 と S_2 の位置合わせにより S'_2 を求める。この処理を繰り返し S'_{n-1} まで行うことで初期位置合わせを完了する。

3.2 複数レンジデータの位置合わせ

複数のレンジデータを同時に位置合わせを行う方法について説明する。

初期位置合わせのように順次位置合わせを行う場合、処理毎に生じる誤差が終端に伝搬され、すべての誤差が蓄積される可能性がある。また、同一箇所において3枚以上のレンジデータが重なる場合、直接位置合わせが行われていないレンジデータ間の誤差は必ずしも最小にならない。このため、複数のレンジデータの誤差を同時に最小化する位置合わせが必要になる。

初期位置合わせ処理後の隣接したレンジデータ S'_i, S'_j を考える。レンジデータ S'_i の点 $\vec{x}'_{i,k}$ を通る、レンジデータ S'_i 測定時の視線方向に平行な直線とレンジデータ S'_j の交点を $\vec{y}'_{ij,k}$ とする。 $\vec{x}'_{i,k}$ と $\vec{y}'_{ij,k}$ が対応点になる。

この時、两点間の誤差 ε_{ij} を

$$\varepsilon_{ij} = \vec{n}'_{i,k} \cdot (\vec{y}'_{ij,k} - \vec{x}'_{i,k}) \quad (3)$$

とする。ここで、 $\vec{n}'_{i,k}$ は点 $\vec{x}'_{i,k}$ における正規化された法線ベクトルであり、点 $\vec{x}'_{i,k}$ を含む近傍の三角形パッチの法線から求められる。

レンジデータ S'_i, S'_j が回転および並進移動した場合、誤差 ε_{ij} は、

$$\varepsilon_{ij} = \mathbf{R}_i \vec{n}'_{i,k} \cdot ((\mathbf{R}_j \vec{y}'_{ij,k} + \vec{t}_j) - (\mathbf{R}_i \vec{x}'_{i,k} + \vec{t}_i)) \quad (4)$$

で表せられる。ここで、 $\mathbf{R}_i, \mathbf{R}_j$ は回転行列、 \vec{t}_i, \vec{t}_j は並進ベクトルである。

式(4)は非線形式なので、このままでは取り扱いが難しい。そこで、すでに初期位置合わせにより、ある程度の位置合わせが行われており、同時位置合わせにおける回転成分は、微小角回転であると仮定すると、回転行列 \mathbf{R} は、

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 1 & -rz & ry \\ rz & 1 & -rx \\ -ry & rx & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

で表わされる。ここで、 rx は x 軸方向の回転角、 ry は y 軸方向の回転角、 rz は z 軸方向の回転角である。

式(5)を用いると、式(4)は

$$\varepsilon_{ij} = \begin{pmatrix} C_{ij,k} & -C_{ij,k} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{\delta}_i \\ \vec{\delta}_j \end{pmatrix} - \vec{n}'_{i,k} (\vec{x}'_{i,k} - \vec{y}'_{ij,k}) \quad (6)$$

と表わされる。ここで、

$$C_{ij,k} = \begin{pmatrix} \vec{n}'_{i,k} \times \vec{y}'_{ij,k} \\ -\vec{n}'_{i,k} \end{pmatrix}^T \quad (7)$$

$$\vec{\delta}_i = \begin{pmatrix} rx_i & ry_i & rz_i & tx_i & ty_i & tz_i \end{pmatrix}^T \quad (8)$$

である。 $\vec{\delta}_i$ は、レンジデータ S'_i の位置合わせ時の移動ベクトルである。

すべてのレンジデータ S_0, S_1, \dots, S_{n-1} の誤差 ε_M は、

$$\varepsilon_M^2 = \sum_{i \neq j} \varepsilon_{ij}^2 \quad (9)$$

である。つまり、

$$\varepsilon_M^2 = \sum_{i \neq j, k} \|A_{ij,k} \vec{\delta} - s_{ij,k}\|^2 \quad (10)$$

を最小にする $\vec{\delta}$ を求めることで、複数レンジデータの同時位置合わせが行われる。ここで、

$$s_{ij,k} = \vec{n}'_{i,k} \cdot (\vec{x}'_{i,k} - \vec{y}'_{ij,k}) \quad (11)$$

$$\vec{\delta} = \begin{pmatrix} \vec{\delta}_0 & \vec{\delta}_1 & \dots & \vec{\delta}_{n-1} \end{pmatrix}^T \quad (12)$$

$$A_{ij,k} = \begin{pmatrix} \underbrace{0 \dots 0}_{6i \times 1} & \underbrace{C_{ij,k}}_{6 \times 1} & \underbrace{0 \dots 0}_{6(l-i-1) \times 1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \underbrace{0 \dots 0}_{6j \times 1} & \underbrace{-C_{ij,k}}_{6 \times 1} & \underbrace{0 \dots 0}_{6(l-j-1) \times 1} \end{pmatrix} \quad (13)$$

である。

対応点を随時変更しながら ε_M が十分に小さくなるように計算を繰り返す。求められた移動ベクトル $\vec{\delta}$ から、各レンジデータの回転行列 \mathbf{R}'_i および並進ベクトル \vec{t}'_i が求まる。なお、この時、ある一つのレンジデータはワールド座標系に対して固定されていることとする。

この結果、レンジデータ S'_i は S''_i に変換され、レンジデータ S'_i の点 $\vec{x}'_{i,k}$ は、

$$\vec{x}''_{i,k} = \mathbf{R}'_i \vec{x}'_{i,k} + \vec{t}'_i \quad (14)$$

に変換される。各レンジデータの移動量を求めることで、複数視線方向のレンジデータの同時位置合わせが行われる。

3.3 テクスチャデータを用いた位置合わせ

テクスチャデータを用いて位置合わせの調整を行う方法について説明する。

ここまでの位置合わせ処理は、レンジデータの形状の特徴を利用して行われた。形状に特徴のあるレンジデータどうしであれば、この方法で十分に位置合わせを行うことができる。しかし、形状に特徴がない平面や滑らかな曲面どうしを位置合わせする場合、形状以外の特徴が必要である。ここでは、そのような場合、テクスチャデータを用いて位置合わせの調整を行う。

本報告では、同一視線方向から測定されたレンジデータとテクスチャデータは、それぞれ対応が取れている事を前提とする。例えば、ステレオ方式のレンジセンサを用いてセンシングを行った場合、レンジの測定とテクスチャの測定は同じ位置で行われるため、テクスチャデータとレンジデータの対応が容易に取れる。

レンジデータ S_i'' 上の点 $x_{i,k}''$ には、テクスチャデータより輝度 $I(x_{i,k}'')$ が与えられる。同様に位置合わせを行う際の対応点となるレンジデータ S_j'' 上の点 $y_{ij,k}''$ の輝度は $I(y_{ij,k}'')$ となる。

この時、重なり合う部分におけるテクスチャの差は

$$diff_{ij} = \sum_{i \neq j, k} D(I(x_{i,k}''), I(y_{ij,k}'')) \quad (15)$$

で表わされる。

一方のレンジデータを微小に移動させ、 $diff_{ij}$ が最も小さくなる対応点の組み合わせを求める。この更新された対応点 $y_{ij,k}''$ を用いて、位置合わせ処理を行い、回転行列 R_i'' および並進ベクトル t_i'' を求める。

この結果、レンジデータ S_i'' は S_i''' に変換され、レンジデータ S_i'' の点 $x_{i,k}''$ は、

$$x_{i,k}''' = R_i'' x_{i,k}'' + t_i'' \quad (16)$$

に変換される。各レンジデータの移動量を求めることで、テクスチャデータを用いた位置合わせの調整が行われる。

4 レンジデータの貼り合わせ

位置合わせされた複数の視線方向からのレンジデータから3次元モデルを作成する方法について説

明する。

各レンジデータから本来の物体表面を表わす3次元ポリゴンモデルの作成を行う。各レンジデータは測定誤差を含んでいる為、対象物体の同じ点を表わすレンジデータであっても完全に重ならない。その誤差を加味して統合を行う。

貼り合わせの手順としては、まず、複数のレンジデータを、ボクセルグリッドからなるポリウム空間に変換する。この変換の際に、レンジデータの統合処理を行う。次に、ポリウム空間から、ポリゴンへ変換することで3次元ポリゴンモデルを作成する。

各ボクセルは3次元物体の表面とボクセル中心 x との値符号付き距離 $f(x)$ を持つ。ここで、 $f(x) > 0$ であれば物体の外側、 $f(x) < 0$ であれば物体の内側、 $f(x) = 0$ であれば物体の表面に、ボクセル中心 x があることを示す。つまり、実際に表現される3次元モデルの表面は、 $f(x) = 0$ の所か、もしくは、隣り合うボクセル値 $f(x)$ の符号が反転している部分にある。

本報告では、レンジデータとボクセルの関係から $f(x)$ の値を求める手法として Wheeler [2] の手法を用いる。また、この $f(x) = 0$ で表わされる3次元モデルの表面をポリゴンモデルに変換する手法として、Marching Cubes Algorithm [7] を用い、3次元ポリゴンモデルを作成する。

5 光源の影響を補正したテクスチャ合成

光源の影響を補正したテクスチャ合成方法について説明する。

再構築された3次元モデルに対し、各テクスチャデータを撮影方向から再投影することでモデル上の点 p の輝度 $I(p)$ を求めることができる。ただし、テクスチャデータには重なりがあるため、点 p には複数の輝度 $I_i(p)$ が対応づけられる。

図2は、モデルに再投影されたテクスチャデータを表わした図である。同じ点であっても、再投影したテクスチャデータ毎に輝度が異なる。図ではその違いが境界線となってあらわれている。

この輝度の違いは、撮影および光源の位置方向と対象物体の形状との関係によって生じる。本報告では、テクスチャ測定装置及び照明を固定し、対象物体を動かしながら測定することを前提とする。その

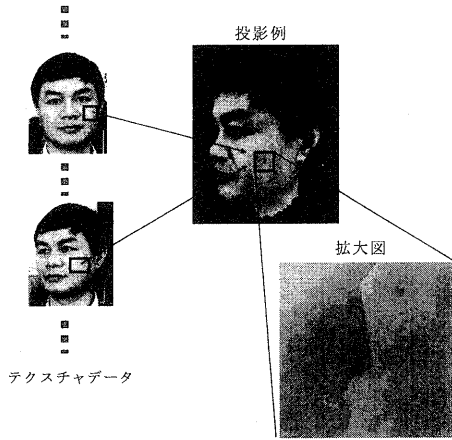


図 2: 3次元モデルに再投影されたテクスチャ

ため、測定毎に物体に対する光源の位置が変わることになり、各画像における光源の影響が異なる。なお、物体の光学的モデルを完全拡散反射モデル（ランバーシアン）と仮定した場合、その輝度 I は、

$$I = k \sum_i \vec{N} \cdot \vec{L}_i \quad (17)$$

で表わされる。ここで、 I は物体表面上の点 p における輝度、 k は点 p における物体色、 \vec{L}_i は光源方向ベクトル、 \vec{N} は、点 p における正規化された法線ベクトルである。物体色 k は、光源に影響されない物体のもつ本来の色である

光源の影響により生じたこの輝度の違いは、単純な α ブレンディングなどで解消することは難しい。そこで、本報告では、一度光源の影響を取り除き、物体が本来持つ物体色を求め、その物体色のレベルで合成を行い、再び、光源の影響を付加することで、モデルのテクスチャの合成を行う。

5.1 物体色の算出方法

光源の影響を補正し、物体の本来の色である物体色を算出する方法について説明する。

ある光源環境で、対象物体を撮影する。撮影された対象物体の点 p における輝度 $I_{obj}(p)$ は、物体をランバーシアンであると仮定した場合、

$$I_{obj}(p) = k_{obj}(p) \sum_i \vec{N}_{obj}(p) \cdot \vec{L}_i \quad (18)$$

で表わされる。ここで、 $\vec{N}_{obj}(p)$ は点 p における正規化された法線ベクトルである。また、 $\sum_i \vec{L}_i$ は、

複数の無限遠にある点光源の集合を示す。対象物体の法線ベクトルは、3次元モデルの再構築の際に求められている。

同じ光源環境下で、参照物体を撮影する。参照物体上の点 q における輝度 $I_{ball}(q)$ は、

$$I_{ball}(q) = I_{ball}(q) \sum_i \vec{N}_{ball}(q) \cdot \vec{L}_i \quad (19)$$

で表わされる。ここで、 $\vec{N}_{ball}(q)$ は点 q における正規化された法線ベクトルである。参照物体は、さまざまな法線方向を含んでいる事が望ましい。そのため、ここでは球体を用いる。

対象物体上の点 p における法線ベクトル $\vec{N}_{obj}(p)$ と、一致する参照球体上の法線ベクトルを探索する。それにより、

$$\vec{N}_{obj}(p) = \vec{N}_{ball}(q) \quad (20)$$

となる参照球体上の点 q が求められる。

式 (20) の関係が成り立つとき、式 (18)(19) から、

$$k_{obj}(p) = \frac{I_{obj}(p)}{I_{ball}(q)} k_{ball}(q) \quad (21)$$

が得られる。ここで、参照球体の点 q 物体色 $k_{ball}(q)$ が 1、つまり参照球体が理想的な白い球体の場合、

$$k_{obj}(p) = \frac{I_{obj}(p)}{I_{ball}(q)} \quad (22)$$

となる。

このように、同じ光源環境下で対象物体と参照物体を撮影し、同じ法線を持つ部分の比を求めることで、光源の影響を補正した対象物体の物体色が求められる。

5.2 複数テクスチャデータの合成

複数のテクスチャデータを合成し、モデルにマッピングするためのテクスチャを作成する方法について説明する。

再構築された 3次元モデル上の点 p の輝度 $I(p)$ は、重なり合ったテクスチャデータからの複数の輝度 $I_i(p) (i = 0 \dots n-1)$ を合成することで求められる。しかし、各テクスチャデータから得られた輝度 $I_i(p)$ は、光源の影響を受けている。そのため、光源の影響を除去し物体色を求め、物体色どうして合成を行い、その後再度光源の影響を付加することで、モデルにマッピングするためのテクスチャを作成する。

まず、各テクスチャデータから得られた輝度 $I_i(p)$ と参照物体の輝度 $I_{ball}(q)$ を用いて、各テクスチャデータの光源の影響を取り除く。得られた物体色 $k_i(p)$ は、式 (22) を用いて、

$$k_i(p) = \frac{I_i(p)}{I_{ball}(q)} \quad (23)$$

で表わされる。

次に、再構築された 3 次元モデル上の点 p の複数の物体色 $k_i(p)$ を用いて、合成された物体色 $k'(p)$ を求める。物体色 $k'(p)$ は、

$$k'(p) = \frac{\sum_i w_i k_i(p)}{\sum_i w_i} \quad (24)$$

で表わされる。ここで、 w_i は各物体色 $k_i(p)$ に対する重みである。

最後に、モデル上の点 p の物体色 $k'(p)$ に対し、新規の光源 $\sum L'_i$ の影響を付加することで、その光源下における物体の輝度が求まる。新たに作成される物体の表面上の点 p における輝度 $I'(p)$ は、

$$I'(p) = k'(p) \sum_i \vec{N}(p) \cdot \vec{L}'_i \quad (25)$$

で表わされる。

再構築された 3 次元ポリゴンモデル上の各点においてこの処理を行うことで、モデルのテクスチャが求まる。

なお、この時付加する新規の光源 $\sum L'_i$ は、撮影時とは異なる光源を使用することができる。たとえば、CG で作成された光源を用いて、再構築された 3 次元モデルのテクスチャを作成することも可能である。

6 実験と結果

本報告で提案した手法を用いて 3 次元モデル再構築の実験を行った。

6.1 測定装置

レンジデータは、2 台のカメラを用いたステレオ式レンジセンサを用いて測定を行う。テクスチャデータは、ステレオの片側の CCD より得られた画像を用いる。ステレオ式レンジセンサは固定されており、物体を多視点から測定するためには、物体自身を動かす必要がある。測定には回転テーブルなど

の位置方向を特定する装置は使用しない。測定時、光源環境は同一に保たれている。

ステレオ式レンジセンサの各カメラのレンズの焦点距離は 8mm、また CCD のサイズは、1/3" である。2 台のカメラのベースラインは 120mm であり、各カメラ間相対回転角は 8.3 度である。また、基準カメラと計測対象との距離は約 700mm である。測定精度を上げるため、距離を測定する際にドットパターンを投影するアクティブステレオ法を用いる。

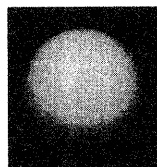


図 3: 参照物体

光源の影響補正に用いた参照物体を図 3 に示す。全体に均一な白色の球体を用いた。

6.2 実験結果

人の顔を対象とした 3 次元モデル再構築の実験を行った。

図 4 は、6 視点におけるテクスチャ付き (a) とテクスチャ無し (b) の再構築された 3 次元モデル画像である。実際には、3 次元モデルを表示するツールで自由な方向から観察できる。

測定された各レンジデータの点数は約 4000 であり、約 8000 のメッシュからなる。再構築された 3 次元モデルの頂点数は約 4000 点であり、約 7000 のメッシュからなる。顔は約 30 度おきに測定した。なお、ステレオ装置の測定精度の問題により、髪の毛の部分は正確なレンジデータが得られなかったため、この実験では髪以外の部分のレンジデータを用いている。

本報告で提案した手法を用いることで、精度よくレンジデータの位置合わせ、貼り合わせ処理がなされ、また、継ぎ目のないテクスチャを合成できていることが確認できる。

7 まとめ

本報告では、複数視点からのレンジデータを用いた 3 次元ポリゴンモデルの再構築方法および、その

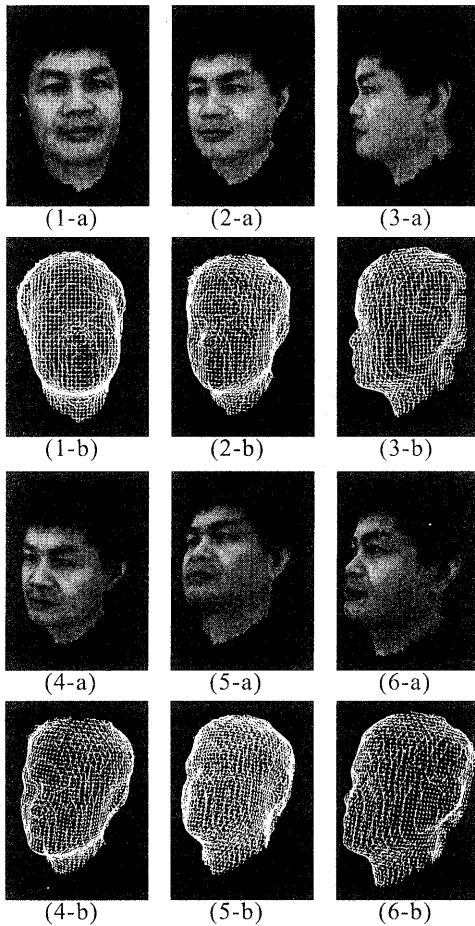


図 4: 再構築された 3 次元モデル (顔)

モデルにマッピングするためのテクスチャ合成方法について説明を行った。そのなかで、光源による影響を補正しテクスチャ合成を行う方法を提案した。また、提案した方法を実物体に適用することでその有効性を示した。

今後の課題として次のような点があげられる。テクスチャ合成において、参照球体を用いた画像の補正の方法だけでは、対象物体がなす自身の影の影響を補正することが難しい。影の影響にも対応できる補正方法の検討が必要である。また、対象物体を完全拡散反射モデルであるとしたが、対象物体の対応範囲を広げるために、鏡面反射成分を含むモデルへの対応も検討していく必要がある。

参考文献

- [1] G Turk and M. Levoy. Zippered polygon meshes from range images, In Computer Graphics Proceedings, ACM SIGGRAPH 94, pp.311-318, Jul. 1994.
- [2] M.D. Wheeler, Y. Sato and K. Ikeuchi. Consensus Surfaces for Modeling 3D Objects from Multiple Range Image, Proceedings of DARPA Image Understanding Workshop '97, pp.911-920, May 1997.
- [3] S.E. Chen and L. Williams. View interpolation for image synthesis, In Computer Graphics Proceedings, ACM SIGGRAPH 93, pp.279-288, Aug. 1993.
- [4] M. Levoy and P. Hanrahan. Light Field Rendering, In Computer Graphics Proceedings, ACM SIGGRAPH 96, pp.31-42, Aug 1996.
- [5] K. Nishino, Y. Sato and K. Ikeuchi. Appearance compression and synthesis based on 3D model for mixed reality, Proceedings of IEEE ICCV'99, pp.38-45, September 1999.
- [6] 西川拓, 西野恒, 佐藤洋一, 池内克史. 高精度レンジセンサによる 3 次元モデルの構築, 情報処理学会第 59 回全国大会 pp.4-165-4-166, 1999.
- [7] W.E. Lorensen. Marching Cubes : A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm, Computer Graphics, Volume 21, Number 4, pp.163-169, July 1987.
- [8] P.J. Neugebauer. Reconstruction of Real-World Objects via Simultaneous Registration and Robust Combination of Multiple Range Images, International Journal of Shape Modeling, Vol. 3, No. 1&2 pp.71-90, 1997.
- [9] I. Sato, Y. Sato and K. Ikeuchi. Acquiring a radiance distribution to superimpose virtual objects onto a real scene, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 5, No. 1, pp.1-12, January-March 1999.
- [10] P. Debevec. Rendering Synthetic Objects into Real Scenes : Bridging Traditional and Image-based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography, In Computer Graphics Proceedings, ACM SIGGRAPH 98, pp.189-198, July 1998
- [11] T. Riklin-Raviv and A. Shashua. The Quotient Image: Class Based Re-rendering and Recognition With Varying Illuminations, IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, June 1999.
- [12] B. Curless and M. Levoy. A Volumetric Method for Building Complex Models from Range Images, In Computer Graphics Proceedings, ACM SIGGRAPH 96, pp.303-312, 1996
- [13] P.J. Besi and N.D. McKey. A Method of Registration of 3-D Shapes, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol.14, No.2 pp239-256, 1992
- [14] K. Kawamura, M.D. Wheeler, O. Yamashita, Y. Sato and K. Ikeuchi. Localization of Insulators in Electric Distribution Systems by Using 3D Template Matching from Multiple Range Images, Proceeding of Intelligent Robotics and Systems(IROS'98), vol. 3, pp.1534-1540, 1998.