

幾何形状モデル生成のための異種距離画像データ接合法

藤木 真和[†] 山本 裕之[†] 田村 秀行[†]

幾何学的特徴の抽出が困難な物体を対象に、異なる方向から撮影した全周型距離画像（側面）と平行投影型距離画像（上下面）を接合し、物体全体の幾何形状モデルを生成する一手法を述べる。本手法では、マニュアルにより各データ相互のおおまかな位置合せを行った後、自動位置合せを行う。次に、全周型距離画像の特徴を考慮し、各形状を滑らかに接合するための形状歪みの補正を行う。これらの処理は、各データを共通の切断面で切断した輪郭形状の差異が最小になるまで繰り返される。本手法は、このように輪郭形状を用いることで、特徴点の対応を明示的に用いる手法に比べて、特徴点が安定に抽出できない物体に対しても安定して適用できる。本稿では、手法の説明とともにコンピュータグラフィックスで生成したデータ、彫像を対象とした実計測データを用いて手法の有効性を確認する。

A Method of Joining Different Types of Range Images for Constructing a Geometric Model

MASAKAZU FUJIKI,[†] HIROYUKI YAMAMOTO[†] and HIDEYUKI TAMURA[†]

This paper describes a method of joining different types of range data, a radial range image and an orthogonal range image, for constructing one geometric object model. The method first registers the 3-D position and attitude of two images by a human operator. Then the following operations are iterated until the difference of 2-D outline shapes is minimized: one operation is the automatic revision of registered information, the other is the transformation of shape of radial range data so that all the data connect smoothly. The second operation is necessary because the radial range image is prone to have peculiar error compared with the orthogonal image. Thus the proposed method does not use any geometric interesting points to register data, it can handle the objects without features that are stably extracted. The results with simulated data and real data measured with a range finder are also described in order to show the applicability of the method.

1. はじめに

物体を3次元画像計測することにより対象の幾何形状モデルを生成する技術は、CG分野から大きな期待が寄せられている¹⁾。しかし、通常のレンジファインダでは2.5次元データ（前面からの表面情報）である距離画像しか観測できない。そこで、対象物体全体の形状データを得るためには、複数の2.5次元データを1つの3次元データに統合する必要がある。

この統合問題では、複数の2.5次元データ間の座標変換を求める位置合せ処理が必要となる。この処理に関して、河合らは2つの距離画像間で小領域の対応を求めることで座標変換パラメータを計算している²⁾。丸島らはテクスチャ情報（濃淡画像）を手掛かりとして2つの画像間の対応を求め、座標変換パラメータ

を計算している³⁾。しかしながら、画像中の特徴点を利用するこれらの手法を、特徴点を安定に抽出できない対象に適用した場合、精度面で十分な結果を得ることができない。そこで、Chenら⁴⁾やMasudaら⁵⁾は、特徴点を要しない手法を提案している。彼らの手法では、まず1つの距離画像中で適当な数の制御点を設定する。そして、他の距離画像中で三次元的にこれらの制御点に対応する候補点と座標変換パラメータを、対応点間の距離が最小となるように繰り返し演算で求める。これらの手法では同一の形態の距離画像、しかも撮影方向が大きく異なる距離画像の統合を取り扱っている。

一方、統合問題を回避するために、レンジファインダ自体を工夫し、一度に対象物体を全周から測定した距離画像を入力することも行われる⁶⁾。この全周型距離画像は人体頭部の形状モデリングに重用され、その結果はヒューマンインタフェースにおける擬人化エージェントなどに用いられている⁷⁾。しかし、全周型距

[†] キヤノン株式会社情報メディア研究所
Media Technology Laboratory, Canon Inc.

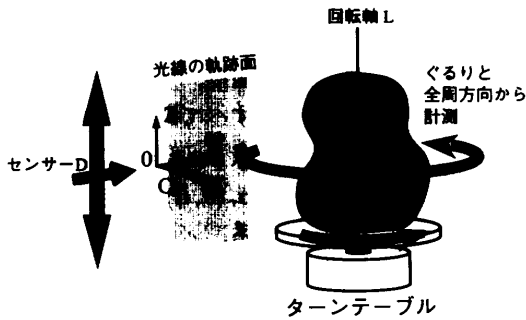


図1 全周型距離画像の撮影
Fig.1 Radial range imaging.

距離画像は、原理的に頭頂部の計測精度が低く、物体形状によっては上下面のデータがまったく欠落してしまう。この欠落部分を補うには、別途まったく異なる方向から計測した距離画像を統合する必要がある。

本稿では、この問題の解決策として、物体の側面形状を計測した全周型距離画像と上下面形状を計測した平行投影型距離画像の2種類の距離画像を接合し、物体全体の形状モデルを生成する方法を述べる。本手法は、これまでに報告されている統合手法と異なり、全周型距離画像と平行投影型距離画像という異なる形態の距離画像、しかもまったく異なる方向から計測された距離画像の接合を行う。そして、これら入力データに関する特性を考慮し、

- (1) 自動位置合せに画像中の特徴点を用いない、
- (2) 位置合せと同時に全周型データの補正を行うという特徴を有する。

以下、2章および3章で接合手法の概略、詳細を説明し、4章でコンピュータシミュレーションによる実験、レンジファインダーを用いた実データによる実験結果を示す。

2. データ入力と接合手法の概略

2.1 2種類の距離画像

物体側面の全周型距離画像を得るために、図1に示すようにセンサー部を固定し、対象物体をターンテーブルにのせて回転させ計測する。このようにして入力される全周型距離画像 $R_r(\theta, h)$ には、横軸に回転テーブルの回転角 θ 、縦軸に計測点の高さ h 、画素値としてテーブルの回転軸（以下、回転軸 L）から各点までの半径が格納されている（図2）。実際には、この距離画像 $R_r(\theta, h)$ は、センサー D から各点までの距離 d を格納した距離画像 $R_d(\theta, h)$ と回転軸 L の位置および傾きから計算される。したがって、回転軸 L のキャリブレーション精度が $R_r(\theta, h)$ の精度に大きく

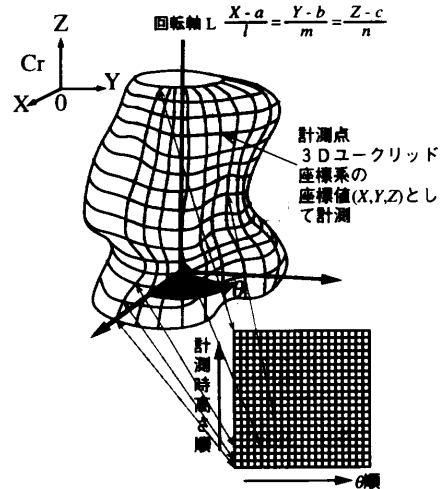


図2 全周型距離画像からの3次元形状作成
Fig.2 Construction of 3D shape from a radial range image.

影響する可能性がある。

図2のように回転軸 L の方程式を定義したとき、6つのパラメータのうち独立な変数の数は4つ、 a 、 b 、 l および m である。別途行った実験により、センサー方向の回転軸の位置を表す b 、傾きを表す m の誤差が $R_r(\theta, h)$ の誤差の大きな要因であることが分かっている。これは、センサー方向に回転軸のずれが生じた場合、計測点と回転軸の距離のずれが大きくなることが原因と考えられる。

このように、全周型距離画像は、センサー出力を直接格納する平行投影型距離画像に比べ、誤差が大きくなる可能性が高い。

一方、上下面形状を計測するための平行投影型距離画像 $R_p(i, j)$ は、全周型距離画像を計測する方向とほぼ直交した方向から計測されるものとする。そして、距離画像 $R_p(i, j)$ では、横軸、縦軸にそれぞれ三次元空間の X および Y 軸成分に相当する値 (i, j) が、画素の値として Z 軸成分に相当するセンサー D からの距離が格納されている。また、全周型距離画像と平行投影型距離画像には、重複して計測されている部分が存在するものと仮定する。

2.2 接合手法の概要

一般に、1つの全周型距離画像 $R_r(\theta, h)$ に対して複数の平行投影型距離画像を接合することが可能であるが、本稿では説明を簡便にするため、1つの平行投影型距離画像 $R_p(i, j)$ を接合することとする。これら2つの距離画像の接合処理は、以下の3つの処理に分けて行われる。すなわち、

- (1) 2つの距離画像の位置関係を求める処理

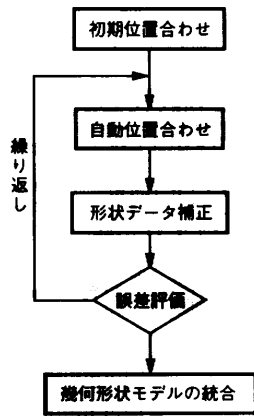


図3 形状データ接合の流れ

Fig. 3 Flow chart for joining shape data.

- (2) 全周型距離画像の誤差を補正する処理
- (3) 2つの距離画像から生成される形状データを1つに接合する処理

である。これらの処理を含む接合手法全体の流れを図3に示す。

初期位置合せでは、操作者が2つの距離画像から生成される形状モデルのグラフィック表示を視認しながら、おおまかに位置を合わせる。これにより、次の自動位置合せの処理時間を短縮し、局所的な最適解へ陥らないようにする。

自動位置合せにおいては、初期位置合せを補正し、2つの距離画像を定義する座標系について正確な変換関係を求める。本手法では、2つの距離画像を共通の平面で切断した断面形状を作成し、断面形状の位置ずれが最小となるように座標変換行列を更新する。

計測誤差などにより、上記の位置合せのみの処理では、2つの距離画像を滑らかに接合できない場合がある。そこで、誤差の補正処理では、上述した断面形状の差違が少なくなるように、全周型距離画像計算時の回転軸Lのパラメータ (b, m) を微調整し、全周型距離画像データを補正する。

上記の自動位置合せ処理と誤差補正処理は、断面形状間の差違が設定した閾値以下になるまで繰り返す。

最後に、2つの距離画像から生成される形状モデルをパッチレベルで接合する。まず、2つの形状モデルから空間的に重複するパッチを削除した部分形状モデルを作成する。次に、これらの間の隙間領域に新たな平面パッチを作成することにより、部分形状モデルを接続する。

以下の説明においては、

$\mathbf{p}_r(\theta, h) = (x_r, y_r, z_r)$ 全周型距離画像 $R_r(\theta, h)$ の (θ, h) における三次元座標、

P_r すべての (θ, h) における点 $\mathbf{p}_r(\theta, h)$ の集合、

C_r $\mathbf{p}_r(\theta, h)$ を定義する座標系、

$M_r = \{P_r, E_r\}$ 全周型距離画像 $R_r(\theta, h)$ から生成される三角形パッチモデル、 E_r は三角形パッチの網構造、

$\mathbf{p}_p(i, j) = (x_p, y_p, z_p)$ 平行投影型距離画像 $R_p(x, y)$ の (x, y) における三次元座標、

C_p, P_p, E_p, M_p 上記と同様、

$\mathbf{T} = \{\mathbf{R}, \mathbf{t}\}$ 座標系 C_p を C_r に変換する座標変換マトリクス \mathbf{T} (\mathbf{R} は回転行列、 \mathbf{t} は平行移動を表す)、

$\mathbf{T}(\mathbf{x}) = \mathbf{R}\mathbf{x} + \mathbf{t}$ 座標変換マトリクス \mathbf{T} による点 \mathbf{x} の座標変換、

$\mathbf{T}(M) = \mathbf{R}\mathbf{x}_i + \mathbf{t}$ マトリクス \mathbf{T} により座標変換した三角形パッチモデル (\mathbf{x}_i はパッチモデル M を構成する各頂点)、

$\mathbf{T}_0 = \{\mathbf{I}, \mathbf{0}\}$ 変換マトリクス \mathbf{T} の初期値 (恒等変換)、

$M'_p = \mathbf{T}(M_p)$ パッチモデル M_p の P_p を座標系 C_r における座標に変換したパッチモデル、

と定義する。

3. 接合手法

接合処理に先立って、2.1節で述べた条件に従って撮影した全周型距離画像 $R_r(\theta, h)$ および平行投影型距離画像 $R_p(i, j)$ から、それぞれ三角形パッチモデル M_r および M_p を生成する。具体的には、各画素を4連結で隣接する画素、および右斜め上で隣接する画素と連結することで網構造 E_r 、および E_p を構成する。

3.1 位置合せ処理

位置合せ処理においては、座標変換マトリクス \mathbf{T} を求める。

3.1.1 初期位置合せ

このモードでは、操作者は画面上のコントロールパネルに配置されたスライダーを操作して、グラフィック画面上に表示された形状モデル M_r および M'_p を

回転・移動することができる。また、座標系 C_r の X , Y , Z 軸いずれかの軸に垂直な平面 S を任意の位置に設定することができる。そして、この平面 S と形状モデル中の辺および頂点との交点を頂点とする多角形(断面形状)が別の表示ウィンドウに表示される。

初期位置合せを行うための標準的な手順は以下のとおりである。まず、 $T \leftarrow T_0$ に設定する。形状モデルの投影画像を見ながら2つの3次元形状の位置ずれが小さくなるようにスライダーを操作し、形状データ M'_p を回転・移動する。次に、平面 S を形状データ M_r と M'_p が重複している部分に設定する。そして、生成される2つの断面形状の位置ずれが小さくなるようスライダーを微調整し、形状データ M'_p を回転・移動する。

最後に、スライダーの値に基づき、変換行列 T を以下のように設定する。

$$T = \{R_x R_y R_z, t_t\} \quad (1)$$

ここで、 R_x, R_y, R_z は座標系 C_r のそれぞれ X , Y , Z 軸周りの回転変換行列、 t_t は平行移動変換を表す行列である。

3.1.2 自動位置合せ

自動位置合せでは、座標系 C_r の各座標軸に対して、以下の処理を順次行うことで変換マトリクス T の微調整を行う。

begin

$k \leftarrow 0$.

形状モデル M_r および M'_p の重複領域に座標軸に垂直な切断面 S_1 から S_I を設定する。

for $i = 1, \dots, I$

begin

切断面 S_i と形状モデル M_r および M'_p により、それぞれ断面形状 Fr_i と Fp_i を作成する。

for $j = 1, \dots, J_i$

begin

$k \leftarrow k + 1$.

図4に示すように、断面形状 Fp_i の各辺の中点 $u_k = (x_k, y_k)$ 、およびその辺の垂直二等分線と断面形状 Fr_i の辺との交点 $v_k = (X_k, Y_k)$ を求める。

end

end

$K \leftarrow k$.

$(u_1, v_1), \dots, (u_K, v_K)$ より

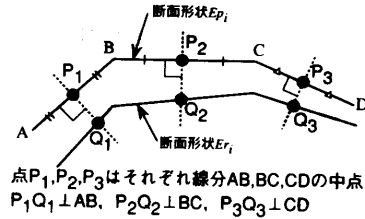


図4 対応点の抽出

Fig. 4 Detection of corresponding points.

$$\Gamma = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & t_x \\ \sin \alpha & \cos \alpha & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

(ただし、 α は切断面に垂直な座標軸まわりの回転角度、 t_x, t_y は切断面上での平行移動量を表す)

を

$$\sum_{k=1}^K ((x'_k - X_k)^2 + (y'_k - Y_k)^2) \quad (3)$$

(ただし、 $(x'_k, y'_k, 1)^t = \Gamma(x_k, y_k, 1)^t$)

が最小となるように求める。

次に、変換マトリクス T を座標変換 Γ をもとに更新する。切断面が Z 軸に垂直に設定されている場合には、

$$T \leftarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & t_x \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & t_y \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot T \quad (4)$$

とする。他の座標軸に関しても同様の更新式が定義できる。

end

3.2 形状データ補正

2つの形状モデルを滑らかに接合するために、共通の断面で切断した断面形状の差異が最小になるように全周型距離画像のデータを補正する。断面形状の差異を表す尺度としては、以下に示す断面形状 E の擬似的半径 $r(E)$ を用いる。

$$r(E) = \frac{2 \times A}{K} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^K e_i$$

(ただし、 K は断面形状 E を構成する頂点の数、 A は断面形状の面積、 e_i は第 i 番目の辺の長さを示す。)

断面は、回転軸 L に沿った座標軸 h に垂直に設定する。 h 軸の原点は、回転軸 L と座標系 C_r の XY 平面との交点とする。

形状データ補正処理は、以下のステップで実行する。

begin

h 軸座標 $h_1 \cdots h_N$ に切断面 $S_1 \cdots S_N$ を設定する。

for $i = 1, \dots, N$

begin

切断面 S_i に対し断面形状 Fr_i および Fp_i を作成し、それらの擬似半径の差 $\Delta r_i = r(Fr_i) - r(Fp_i)$ を算出する。

end

b および m を下記に述べる手法で更新し、それらの値に基づいて三次元座標 P_r を更新する。

end

全周型距離画像の計測原理から、回転軸のパラメータ b および m をそれぞれ b' および m' に変更したとき、断面形状 Fr_i の擬似半径の変化分 $dr(h_i)$ は $h = h_i$ における回転軸の移動量であるから、以下の式で表すことができる。

$$dr(h_i) = \frac{m' - m}{n} h_i + (b' - b) \quad (6)$$

(ただし、 n は図2に示す回転軸 L のパラメータ) したがって、 h 軸座標 $h_1 \cdots h_N$ における $\Delta r_1, \dots, \Delta r_N$ と $dr(h_1), \dots, dr(h_N)$ の差を最小化するように b および m を調整することで、2つの形状の重複部分で形状 M_r を形状 M'_p に近付けることができる。具体的には、評価値

$$D = \sum_{i=1}^N \{dr(h_i) - \Delta r_i\}^2 \quad (7)$$

を最小にする b' および m' を、新たに回転軸のパラメータ b および m に設定する。

3.3 幾何形状モデルの接合処理

形状モデルの接合処理は次の手順で行う(図5)。

Step 1) 形状モデル M_r および M'_p の重複部分に座標系 C_r の Z 軸に垂直な平面(接合面)を設定し、3次元空間を2つの領域に分割する。

Step 2) 2つの領域のうち、 M_r の重心が存在する領域内の頂点のみで部分形状モデル M_r を再構築する。その際、接合面と交差していたパッチ上の頂点で新たな形状モデルに残る頂点を接合頂点として抽出する。

Step 3) 形状モデル M'_p について Step 2 の処理を

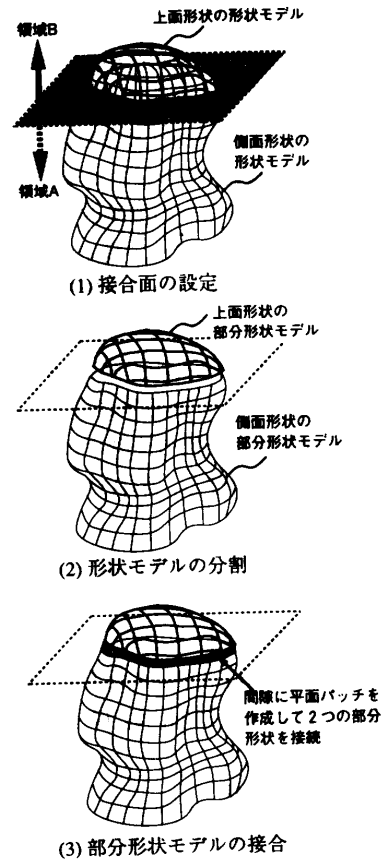


図5 形状モデル接合の概念図

Fig. 5 Joining of geometric models.

施す。

Step 4) 接合頂点を全周型距離画像 $R_r(\theta, h)$ を定義する円筒座標系へ逆射影する。

Step 5) 円筒座標系上で接合頂点を母点とするドロネー網⁸⁾を生成し、接合頂点間の接続情報を得る。

Step 6) 生成された接続情報を部分形状モデル M_r および M'_p のデータとマージする。

上記の説明では、本章の初めに説明した手法で生成される均一な網構造をもつ形状データ M_r および M'_p を用いている。しかし、接合処理は必ずしも網の均一性を仮定していないので、文献9)で提案されている適応型のパッチモデルを利用することもできる。

4. 実験と評価

4.1 位置合せ・回転軸補正の評価実験

3.1.2項の自動位置合せ処理および3.2節の形状データ補正処理に関して、処理精度を定量的に評価するため、次の(1)~(3)の処理形態による実験を行った。

- (1) 自動位置合せ処理のみ
- (2) 形状補正処理のみ

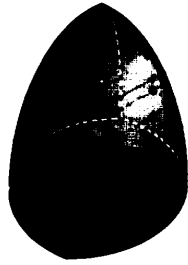


図6 実験に用いた物体の概略形状
Fig. 6 Schematic shape for experiments.

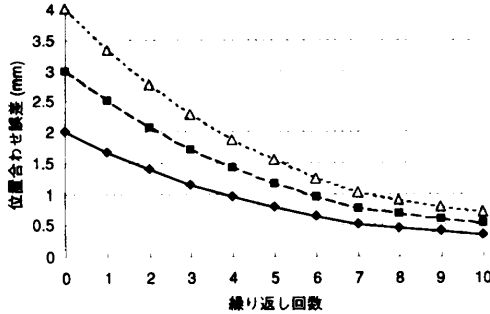


図7 自動位置合せ処理による位置合せ誤差
Fig. 7 Position error with automatic registration.

(3) 自動位置合せ処理+形状補正処理

評価のためには、形状データの真値および2つの形状データの理想的接合位置が既知であるデータを用いる必要がある。ここでは、形状データ M_r および M_p の重複部分が滑らかな曲面から構成される図6に示す紡錘形の幾何形状などに対して2.1節で述べた条件を仮定した全周型距離画像と平行投影型距離画像を作成し、入力データとして用いた。なお、全周型距離画像および平行投影型距離画像の解像度は、ともに 256×256 画素で、サンプル点間隔は 0.5 mm である。また、形状データ M_r および M_p の重複部分の割合は、形状全体の高さ（回転軸 L の方向の大きさ）に対して 10% とした。

それぞれの実験の方法および結果は以下のとおりである。

【実験1】自動位置合せ処理の評価

初期位置合せの位置合せ誤差をどの程度まで減少させることが可能か検討する。この目的のために誤差のない距離画像を準備し、これら2つの距離画像から生成される形状データ M_r および M_p を正しい位置からずらして配置する。次に、自動位置合せ処理のみを施して、処理の繰返し回数に対する位置合せ誤差の変化を観察する。

位置合せの誤差として、形状 M_p 中の頂点に関して正確な位置からの距離の平均値を用いる。

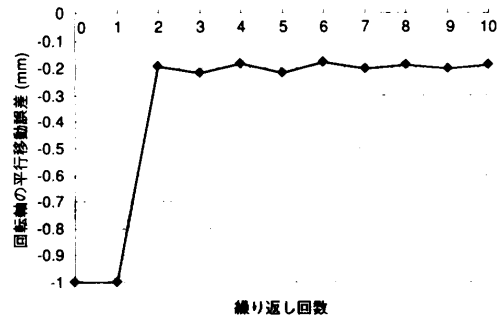


図8 回転軸の平行移動誤差
Fig. 8 Translation error of rotation axis.

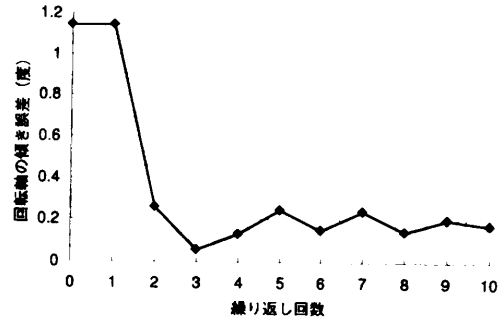


図9 回転軸の傾き誤差
Fig. 9 Rotation error of rotation axis.

実験結果の一例として、紡錘形の形状データを用いたものを図7に示す。紡錘形のほか、三角錐などの形状データ数種類に対しても、約10回程度の反復で位置合わせの最大誤差が 0.5 mm 程度に減少する結果が得られた。用いた形状データのサンプル点間隔が 0.5 mm であることを考慮すると、自動位置合せ処理は十分な補正精度を持つことがわかる。

【実験2】形状データ補正処理の評価

全周型距離画像の誤差の要因のひとつである回転軸パラメータの誤差をどの程度まで減少させることが可能か検討する。実験では、回転軸パラメータに誤差を加えて生成した全周型距離画像と誤差を含まない平行投影型距離画像を準備し、それらから生成される形状データ M_r および M_p を正しい位置関係に配置する。次に、形状データ補正処理により補正される回転軸パラメータの誤差を観察する。

回転軸の誤差は、平行移動誤差と傾き誤差の2種類の誤差によって評価する。このうち平行移動誤差は、真の回転軸と平面 $Z=0$ との交点と推定された回転軸と平面 $Z=0$ との交点の間の距離で表す。また、傾き誤差は、真の回転軸の方向ベクトルと推定された回転軸の方向ベクトルのなす角度とする。

紡錘形の形状データを用いた実験結果を図8および図9に示す。他の形状データ数種類に対しても、7回

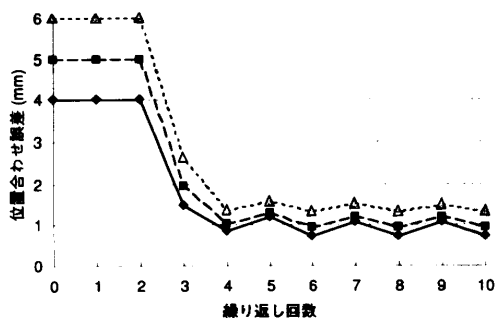


図10 形状接合処理による位置合せ誤差
Fig. 10 Position error with 3D data joining.

程度の反復で回転軸の位置の最大のずれが約0.2 mm、傾きの最大誤差が約0.2度に減少する結果が得られた。

【実験3】 [自動位置合せ処理+形状データ補正処理] の位置合せ誤差の補正性能の評価

本手法が位置合せ誤差をどの程度まで減少させることが可能か検討した。この実験では、回転軸パラメータに誤差を加えて生成した全周型距離画像と誤差を含まない平行投影型距離画像を準備し、それらから生成される形状データ M_r および M_p を正しい位置関係からずらして配置する。次に、自動位置合せ処理と形状補正処理を一組として繰返し処理を施し、位置合せ誤差の変化を観察する。

紡錘形の形状データを用いた実験結果の例を図10に示す。他の数種類の形状データに対しても同様に、10回程度の反復で、位置合せの最大誤差が1.0 mm程度に減少した。自動位置合せ処理のみを施した場合に比べ誤差が大きいものの、形状データのサンプル点間隔の2倍程度の位置合せ精度が得られた。

本稿の接手法では、2つの距離画像の重複した部分の断面を位置合せ、形状補正に利用している。したがって、この重複部分が計測距離画像に含まれる割合に応じて、接合の精度が影響を受けることが予想される。そこで、両形状が重複する割合を変化させて上記実験1から実験3を行ったところ、いずれの場合も重複の割合が高くなるほど誤差の収束が速くなることが確認された。この実験結果の一例として、実験1において両形状データの重複割合を10%から90%まで5段階に設定した場合の位置合せ誤差の変化を図11に示す。

4.2 実物体計測データによる接合実験

レンジファインダーを用いて大きさ約12 cmの石膏製の彫像の側面方向から全周型距離画像を、頭部方向から平行投影型距離画像を撮影した。用いたレンジファインダー⁹⁾は、奥行き方向に0.1 mm以下の精度を有し、全周型距離画像および平行投影型距離画像と

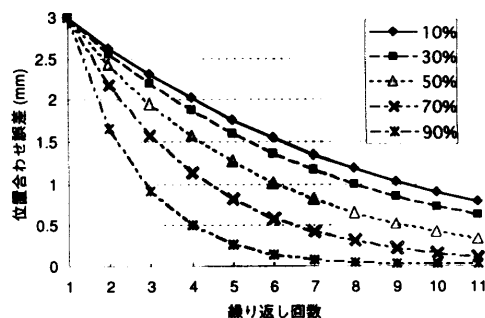


図11 重複度による位置合せ誤差の変化
Fig. 11 Position error with various overlapping ratios.

もに 256×256 画素の解像度で入力を行った。

図12(a), (b)は、それぞれ彫像の全周型距離画像および平行投影型距離画像から文献9)の手法で生成されたポリゴンデータを、ワイヤフレームにより表現したものである。これらは、位置合せや形状補正に用いられる M_r および M_p ではなく、接合処理の対象となるパッチモデルである。図12(c)は、3.1.1項に述べた手動による位置合せのみを行った後、側面形状と上面形状を接合した結果である。一方、図12(d)は、初期位置合せに加え、自動位置合せおよび形状データ補正処理を施した後に接合した結果である。図12(c), (d)ともに、彫像全体の形状を表すポリゴンデータにFlat Shadingによりレンダリングを行った画像である。初期位置合せのみの場合、側面形状と上面形状の位置合せのずれ、および側面形状の形状誤差のため、ポリゴンパッチの接合部分に不自然な段差が生じている。これに対して、自動位置合せおよび形状補正処理を施した場合、両ポリゴンパッチが滑らかに接続されていることがわかる。図12(d)に示したポリゴンデータをもとにGouraud Shadingによるレンダリングを行った結果を図13に示す。図12(a), (b), (d)の形状モデルの頂点数およびポリゴン数を表1に示す。

また、式(3)の評価値より算出した断面形状上の対応点对間の距離の平均値が、繰返し処理の過程でどのように変化するかを図14に示す。同様に、式(7)の評価値より算出した疑似半径の調整誤差 ($\sqrt{D/N}$) の変化を図15に示す。

このデータの場合、形状データ補正処理においては、回転軸を0.63 mm平行移動、1.2度回転し、形状が補正された。なお、本実験で自動位置合せ処理および形状補正処理に要した時間は、Silicon Graphics社製ワークステーション Indigo2 Extreme上で実行した場合、約5分であった。

また、別の彫像を用いた実験結果を図16に示す。この場合、側面形状および上面形状のパッチ密度が大

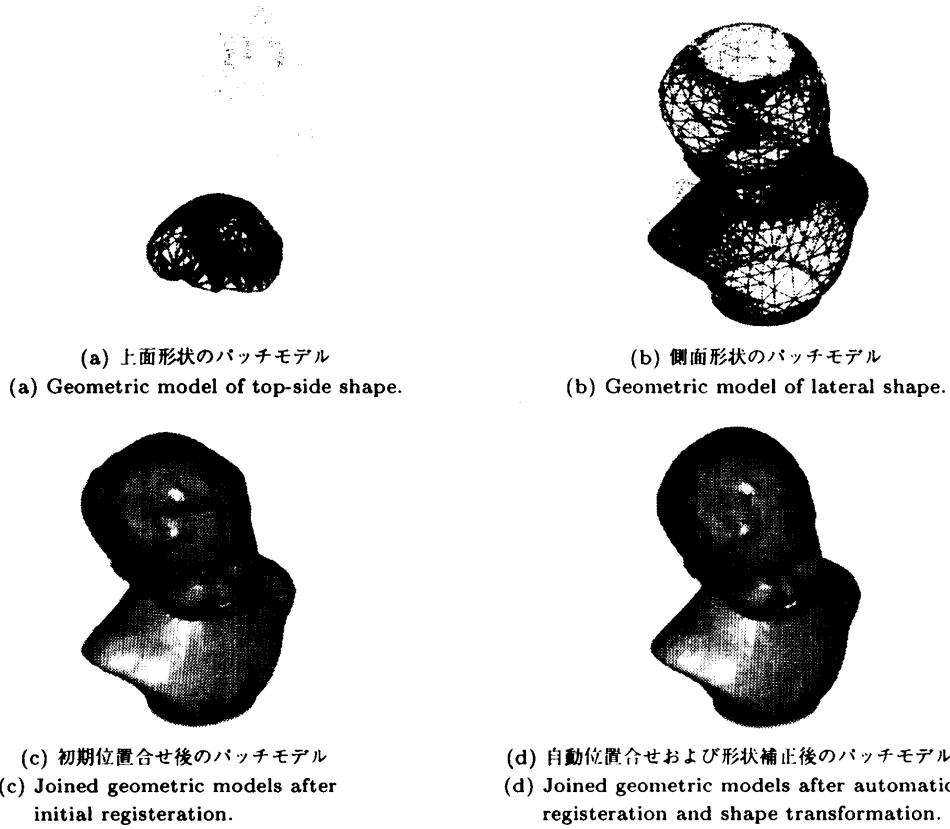


図 12 実物体による実験結果 (1)
Fig. 12 Result with real data No.1.

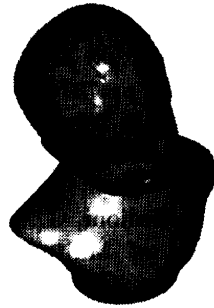


図 13 物体全体のレンダリング結果
Fig. 13 Surface rendering of geometric model of whole object.

表 1 形状モデルの頂点数およびポリゴン数
Table 1 Number of vertices and polygons of geometric model.

	頂点数	ポリゴン数
上面形状	1394	2740
側面形状	3266	6410
全体形状	4013	7992

大きく異なっているが、その影響を受けずに両パッチモデルが滑らかに接続されている。

他の彫像数種類についても同等の結果が得られ、本

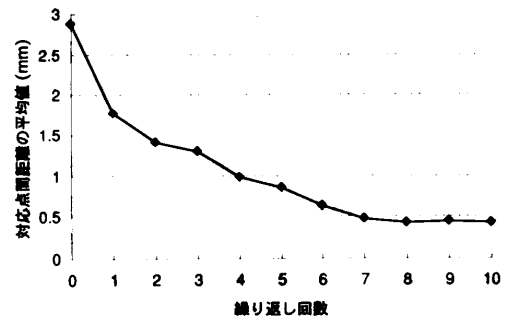


図 14 対応点間距離の平均値
Fig. 14 Average distance between corresponding points.

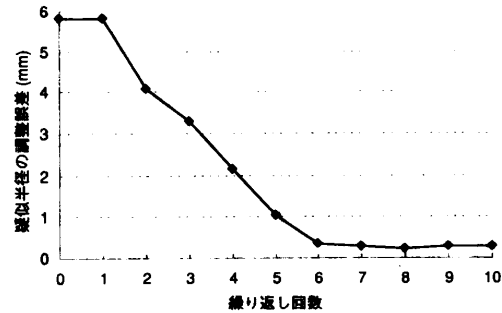


図 15 疑似半径の調整誤差
Fig. 15 Correction error of pseudo-diameter.

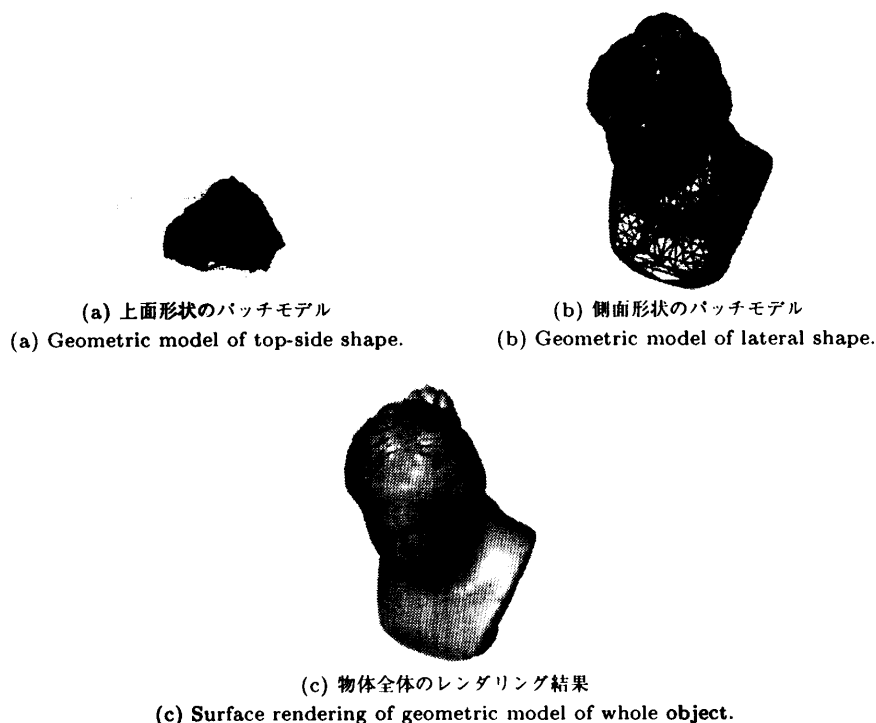


図 16 実物体による実験結果 (2)
Fig. 16 Result with real data No.2.

手法が十分有用であることが確認された。

5. む す び

自然物体を対象として異なる方向から撮影した全周型距離画像と平行投影型距離画像の 2 種類の距離画像から得られる形状データを接合し、物体全体の表面形状を表す幾何形状モデルを作成する手法について述べた。

本手法では、2つの3次元形状を共通の平面にて切断した断面形状を用いることで、幾何学的特徴の抽出が困難であっても3次元形状を位置合わせすることが可能である。また、全周型距離画像の特徴を考慮して、形状データの補正を同時に行っている。シミュレーションや実計測したデータを用いた実験により、本手法の有効性が確かめられた。

また、本手法では、あらかじめそれぞれの部分的な表面形状を表す形状モデルを作成し、これらを1つの形状モデルに接合している。したがって、部分形状モデルの解像度を相違を吸収することはできない。これに対して、位置合せを行った距離画像をもとに、1つの幾何形状モデルを作成する方法も考えられている¹⁰⁾。

謝辞 本研究を進めるにあたり、様々なご助言をいただいた情報メディア研究所の大島登志一氏、内山晋二氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 井口征二, 佐藤宏介: 三次元画像計測, 昭晃堂 (1990).
- 2) 河合良浩, 植芝俊夫, 吉見 隆, 大島正毅: 多視点レンジデータからの3次元形状復元, 信学論, Vol.J75-DII, No.4, pp.737-748 (1992).
- 3) 丸家 誠, 高島洋典: テクスチャを手がかりにした形状再構成, 画像電子学会年次大会論文集, pp.65-68 (1993).
- 4) Chen, Y. and Medioni, G.: Object Modelling by Registration of Multiple Range Images, *Image and Vision Computing*, Vol.10, No.3, pp.145-155 (1992).
- 5) Masuda, T. and Yokoya, N.: A Robust Method for Registration and Segmentation of Multiple Range Images, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.61, No.3, pp.295-307 (1995).
- 6) Suenaga, Y. and Watanabe, Y.: A Method for the Synchronized Acquisition of Cylindrical Range and Color Data, *IEICE Trans.*, Vol.E-74, No.10, pp.3407-3416 (1991).
- 7) 田中弘美, 岸野文郎: 曲面再構成のための適応格子生成法—階層的三角パッチ表現並列生成アルゴリズム, 信学論, Vol.J76-DII, No.8, pp.1691-1703 (1993).
- 8) 内山晋二, 山本裕之, 田村秀行: 3次元形状モデリングのためのドロネー網生成法, 信学論, Vol.

J78-DII, No.5, pp.745-753 (1995).

- 9) 内山晋二, 山本裕之, 田村秀行: 距離画像からの階層化適応型パッチ生成法, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.2, pp.351-361 (1995).
- 10) Hoppe, H., DeRose, T., Duchamp, T., McDonald, T. and Stuetzle, W.: Mesh Optimization, *Proc. SIGGRAPH 93*, pp.19-26 (1993).

(平成7年11月28日受付)

(平成8年11月7日採録)



藤木 真和

1968年生。1991年東京大学理工学部電子工学科卒業。1993年同大学大学院修士課程修了。同年キャノン(株)入社。3次元形状モデリング、バーチャルリアリティの研究に従事。

電子情報通信学会員。



山本 裕之 (正会員)

1962年生。1984年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1986年同大学大学院修士課程修了。同年キャノン(株)入社。1990~1992年マクギル大学知能機械研究所客員研究員。

現在、キャノン(株)情報メディア研究所画像メディア研究部主任研究員。この間、三次元画像計測・認識、アクティブビジョン、バーチャルリアリティ、画像メディアの研究に従事。工学博士。電子情報通信学会、日本バーチャルリアリティ学会会員。



田村 秀行 (正会員)

1970年京都大学工学部電気工学科卒業。工業技術院電子技術総合研究所を経て、1986年キャノン(株)入社。現在、同社情報メディア研究所長兼画像メディア研究部長。工学博士。

パターン認識、画像処理、画像データベースなどの研究に従事。最近は、三次元画像メディア、CSCWなどに興味を持っている。編著書「コンピュータ画像処理入門」、「電腦映像世界の探険」、「知能情報メディア」など。IEEE, ACM, 日本バーチャルリアリティ学会、人工知能学会会員。