

## キューブ分割による3次元計測点群データの再標本化

王 生進      蔡 奕      佐藤 誠

東京工業大学 精密工学研究所  
〒 227 横浜市緑区長津田町 4259

あらまし レンジファインダにより計測された3次元形状計測データは、その量が膨大であったり離散的であったりして、コンピュータグラフィックスにおいては、そのまま取り扱いにくく、より少ない標本点データに圧縮して形状をモデリングすることが重要である。本報告では、計測点群データをキューブ分割に基づいて再標本化する手法を提案する。はじめに、計測された3次元形状モデルの離散点群データを解析して、形状モデル空間でキューブを生成する。次に、各キューブの中に分割された離散点群データの再標本化を行い、近似的に等価な格子状の再標本化点を生成する。本アルゴリズムにより、計測点群データから3次元形状モデルを自動生成することができ、3次元形状モデリング作業を大幅に軽減することが可能となる。また形状モデルを自由曲面パッチにより正確に再現することができる。最後に、具体例を用いた実験により提案する手法の有効性を明らかにした。

和文キーワード    3次元画像処理、キューブ分割、データ再標本化、3次元形状表現。

## Re-sampling of 3-D Object Range Data by Cube-Based Segmentation

Shengjin WANG, Yi CAI, Makoto SATO

*Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology,  
4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama-shi, 227 Japan.*

**Abstract** An efficient method of re-sampling 3-D object range data automatically by cube-based segmentation is proposed. First, analyzing the 3-D object range data delivered by an optical measuring machine quantitatively, the outline of the 3-D object shape is obtained. Then the 3-D object shape is segmented by cross sections. As a result, a group of cubes in the 3-D object shape space are formed and the discrete range data are divided into each cube. By re-sampling the data in each cube the new patches in which the regular rank arranging points are formed. Using the re-sampled points it is possible to reconstruct the 3-D object shape with *surface parametric equations*. By employing the proposed method the experimental results are given. The results show that this method has a robust and superior capability in handling the range data of different object shape.

英文 key words    *3-D image processing, cube-based segmentation, data re-sampling, 3-D shape representation.*

# 1 まえがき

近年のコンピュータグラフィックス (CG) の研究開発の進歩はめざましく、実写映像に迫る高品質 3 次元画像の生成が盛んになってきた。しかしながら、3 次元形状モデリングはそのほとんどの作業が人間の手によって行なわれているのが現状であり、非常に手間がかかる問題点がある。将来の情報化社会のより一層の発展のためには、3 次元 CG における形状モデリングや 3 次元 CG/CAD データの自動生成を実現することが重要な課題の一つである。さて、CG の入力として、実物体の 3 次元形状の高精度計測が用いられるようになってきた。物体の 3 次元情報を表す 3 次元計測点群データの取り込みにおいては、非接触な手法で距離情報を計測するさまざまな方法が開発されている [1] [2] [3] [4]。しかし、レンジファインダにより取り込まれる計測点群データは、その量が膨大であったり離散的であったりして、CG においては、そのまま取り扱いにくく、3 次元自由曲面パッチの生成、リアルタイムな CG 演算は困難である。

一方、3 次元 CG では、3 次元形状モデルの表現、3 次元形状モデリングなどを行なうために、計測点群データから 3 次元自由曲面モデルの作成が必要である。しかしながら、現在よく用いられる 3 次元自由曲面式は spline 曲面、Bézier 曲面などのカルテジアン積曲面である。カルテジアン積曲面を用いて曲面パッチを生成する場合には、与えられた各曲面上の点の  $x-y$  平面への投影点は基本的に格子状に並んでいる必要がある。与えられた各点が  $x-y$  平面上で任意に分布する場合には、これらの点群データをそのまま用いてカルテジアン積曲面である自由曲面表現式をただちに決定することはできない [5]。そのため、計測点群データから曲面パッチをはるための標本点を新たに作り出す再標本化が必要となる。

現在、計測点群データから 3 次元形状モデルを再構成する方法が数多く提案されているが、計測点群データを再標本化する問題を検討した例は少ない。数多くの研究では平面三角パッチ [6] [7] あるいは双一次曲面式 [8] で 3 次元形状の再構成が行なわれている。そのため、抽出された点群データの数が十分多くないと、形状物体の表現は不自然になり、高品質な CG 画像を生成することができない。長島ら [9] は 3 次元形状モデルの個々の基準点を入力することにより、3 次元 Bézier 曲面パッチの生成を行なう手法を提案しているが、この方法では、形状モデルの基準点を手作業で選択する必要があるため、曲面パッチの自動生成は不可能である。

我々は、キューブ分割により、3 次元形状モデルの計測点

群データを自動的に再標本化する手法を提案する。本手法では、まず、計測された 3 次元形状モデルの離散点群データの解析により、形状モデル空間でキューブを生成して、離散点群データを各キューブごとに分割する。次に、各キューブの中に分割された計測点群データに対して再標本化を行なって、近似的に等価な格子状の再標本化点を生成する。3 次元自由曲面を表す曲面パッチは近似的に等価な格子状の再標本化点で構成される。曲面パッチは自由曲面表現式で表現できる四角形パッチと三角形パッチ [9] の 2 種類がある。各キューブの中に分割された曲面パッチは四角形と三角形の場合、直接に再標本化の処理を行ない、五角形あるいは六角形の場合に、四角形曲面と三角形パッチへの再分割処理を行なう。各曲面パッチ間連続に接続するため、各隣接する曲面パッチ境界上の再標本化点が共有される。本アルゴリズムにより、計測点群データから 3 次元形状モデルを自動生成でき、3 次元形状モデリング作業を大幅に軽減することが可能となる。また形状モデルを自由曲面表現式で再現することにより、形状モデル上の任意の位置の幾何学的情報を容易に抽出・表示できる。実物体の 3 次元形状の計測点群データを再標本化した実験結果により、提案する方法の有効性を明らかにした。

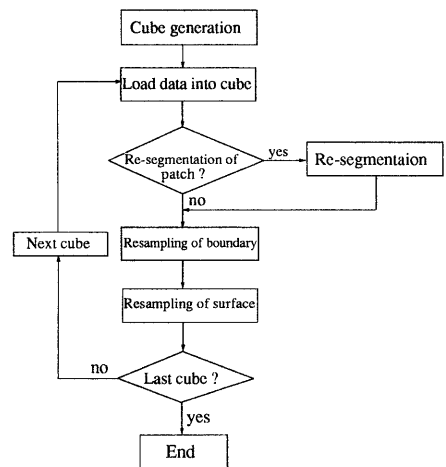


Fig. 1 The block diagram of cube-based segmentation

はじめに、提案する手法の概略フローチャートを図 1 に示しておく。本報告では次章以降、このフローチャートに沿って各ステップについて述べていく。まず 2 でキューブ

分割の原理およびキューブの生成について述べ、3で計測点群データの再標本化手法について述べる。最後に、4では提案する方法により3次元計測点群データを再標本化した実験結果を示す。

## 2 キューブ分割

### 2.1 キューブの生成

3次元計測点群データを取得する3次元測定機は形状モデルの表面の多数の点の3次元座標値を計測する。ここで、計測された点群データの羅列を計測点群データと呼び、再標本化された点列を再標本化点と呼ぶことにする。対象とする自由形状物体上の稠密な  $N$  個の3次元計測点群データ  $\{D_i(x_i, y_i, z_i) | i = 1, \dots, N\}$  が与えられているとする。

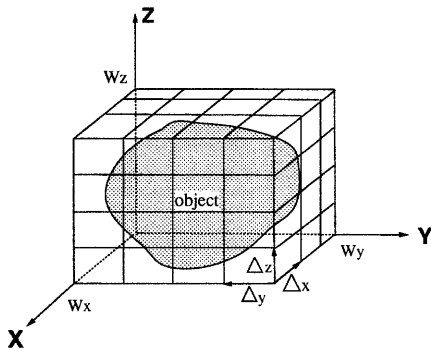


Fig. 2 The cube segmentation of a 3D object

3次元形状モデルの計測点群データから、モデル全体を囲む外郭直方体の位置が次のように求められる。

$$\begin{cases} x_{min} = \min\{x_i\} - \Delta_0 \\ x_{max} = \max\{x_i\} + \Delta_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} y_{min} = \min\{y_i\} - \Delta_0 \\ y_{max} = \max\{y_i\} + \Delta_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} z_{min} = \min\{z_i\} - \Delta_0 \\ z_{max} = \max\{z_i\} + \Delta_0 \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $\Delta_0$ は外郭直方体とモデル境界間のゆとりを与えるパラメータである。そして、外郭直方体の大きさが次式で

得られる。

$$\begin{cases} W_x = x_{max} - x_{min} \\ W_y = y_{max} - y_{min} \\ W_z = z_{max} - z_{min} \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $W_x, W_y, W_z$ はそれぞれ形状モデルを囲う直方体の  $X, Y, Z$  軸の方向の長さである。

得られた外郭直方体を、 $X, Y, Z$  軸の三つの方向に沿って、適当なしきい値により分割する。すると、図2に示すように3次元形状モデルの空間でキューブを生成して、形状モデルの表面は各キューブの中に分割される。ここで、キューブの中に分割された部分は一つの曲面パッチと呼ばれる。各キューブの  $X, Y, Z$  軸方向の長さは次式で決められる。

$$\begin{cases} \Delta_x = \frac{W_x}{n_x} \\ \Delta_y = \frac{W_y}{n_y} \\ \Delta_z = \frac{W_z}{n_z} \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 $n_x, n_y, n_z$ はそれぞれ  $X, Y, Z$  軸、三つの軸方向のキューブの数である。

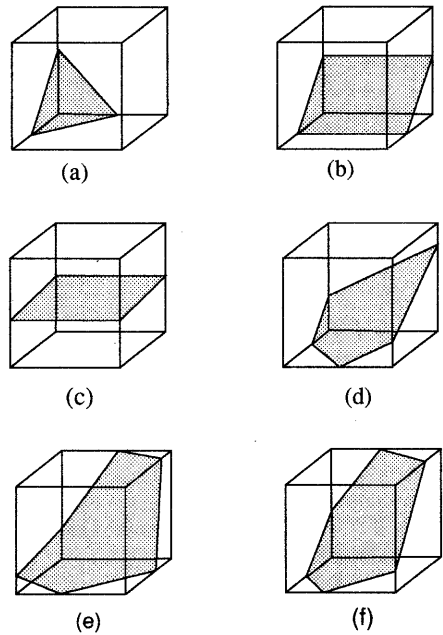


Fig. 3 The forms of segmented surface in cubes

## 2.2 キューブ中の曲面パッチ

各キューブの中に分割された3次元物体の表面は一つの多角形曲面パッチになっている。計測点群データの再標本化は各曲面パッチごとに行なう。また、計測点群データを再標本化するために、次の仮定を設ける。

[ 仮定 ] 3次元形状モデルに対する分割は十分に細かな分割キューブにより、各キューブ内では単一の曲面で構成できる。

後の再標本化に対しては、このような曲面パッチのみを対象とする。そして、キューブの中に分割された曲面パッチの形が図3の示すような6種類に限られる。図3(a)は三角形曲面パッチで、図3(b), (c)は四角形曲面パッチである。図3(d)は五角形曲面パッチで、図3(e), (f)は六角形曲面パッチである。

## 2.3 曲面パッチの再分割

本手法の結果として、得られた曲面パッチは自由曲面表現式で表現できる四角形パッチと三角形パッチ<sup>[9]</sup>を生成する。そして、各キューブの中に分割された曲面パッチは四角形と三角形の場合、直接に再標本化の処理を行ない、五角形あるいは六角形の場合、その曲面パッチをさらに四角形曲面と三角形パッチへ再分割する。

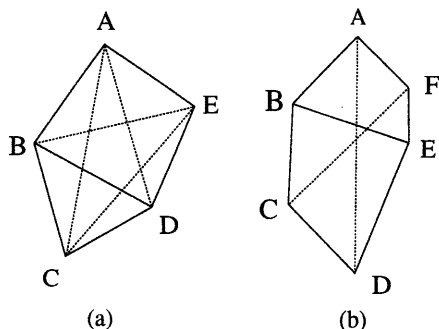


Fig. 4 Re-segmentation of polygonal patches

図4(a)に示すような五角形の場合には、その五角形曲面パッチを一つの四角形曲面パッチと一つの三角形曲面パッチに再分割する。再分割可能なパターンは図4(a)に示すような五つの可能性がある。再分割の基準として、各分割線の2端点間の距離を計算し、2点間の距離が最短の分割

線を求め、五角形曲面パッチを二つの曲面パッチに分ける。図4(a)の例では、実線BDが分割線となる。

図4(b)に示すような六角形曲面パッチの場合には、その六角形曲面パッチを二つの四角形曲面パッチに再分割する。この場合、図4(b)に示すような三つの再分割の可能性がある。再分割の基準として、各分割線の2端点間の距離を計算し、2点間の距離が最短の分割線により六角形曲面パッチを二つ四角形曲面パッチに分割する。その結果は図4(b)の実線BEに表される。得られた新たな曲面パッチに対して、四角形曲面パッチあるいは三角形曲面パッチの場合と同じように再標本化処理を行なう。

## 3 計測点群データの再標本化

### 3.1 再標本化点の基本計算

一般に、自由曲面上稠密な3次元計測点群データが図5に示すように分布している。 $n$ はこの曲面パッチの単位法線ベクトルである。 $Q$ は曲面パッチ外の空間点である。一旦、 $Q$ と $n$ を定めると、再標本化点を簡単に計算することができる。次節以降、この計算する方法に基づいて、キューブの中に曲面パッチの6種類パターンに対して、 $Q$ と $n$ を求める手法を述べる。

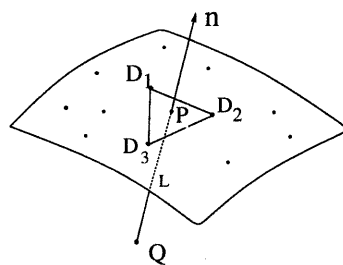


Fig. 5 The computation of a resampling point

ここで、ある曲面パッチの $n$ と $Q$ はあらかじめ決めておくと、1本の半直線 $L$ が次式で決められる。

$$P(t) = Q + n \cdot t, t > 0 \quad (6)$$

そして、半直線 $L$ は、この曲面パッチと交差して、一つの交差点が生じる。この交差点を求めるのは、まず、曲面上に分布している計測点群データから、半直線 $L$ との最近距離

の3点を選び出す。この3点を用いて一つの空間平面方程式が次式のように決められる。

$$(\mathbf{P}(t) - \mathbf{D}_1) \cdot [(\mathbf{D}_2 - \mathbf{D}_1) \times (\mathbf{D}_3 - \mathbf{D}_1)] = 0 \quad (7)$$

但し、点  $\mathbf{D}_1, \mathbf{D}_2, \mathbf{D}_3$  は直線との最近距離の3点の計測点群データである。

次に、式(6)と式(7)を連立して、

$$(\mathbf{Q} + \mathbf{n} \cdot t - \mathbf{D}_1) \cdot [(\mathbf{D}_2 - \mathbf{D}_1) \times (\mathbf{D}_3 - \mathbf{D}_1)] = 0 \quad (8)$$

となる。式(8)を解くと、パラメータ  $t$  が求められる。得られた  $t$  を式(7)に代入すると、一つの再標本化点  $\mathbf{P}$  が求められる。更に、式(6)で決定される  $\mathbf{Q}$  が  $\mathbf{n}$  の直交方向に比例的に替えると、曲面パッチ内で整列的な再標本化点が生成される。

### 3.2 曲面パッチ境界上の再標本化点の生成

形状モデルの3次元自由曲面を再構成する際に、各隣接する曲面パッチ間を連続に接続するために、隣接する各曲面パッチ間の境界線を共有することが必要である。

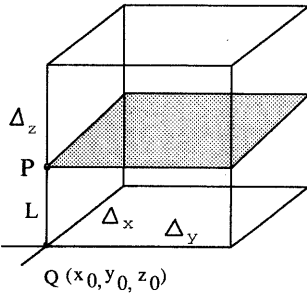


Fig. 6 The generation of resampling point on ridge

一つのキューブでは、図6に示すように12本の稜線がある。1本の稜線は二つのキューブ頂点と繋がっている。点  $\mathbf{Q}(x_0, y_0, z_0)$  はこの頂点の一つである。稜線  $L$  の単位法線ベクトルは  $(0, 0, \Delta_z)$  である。まず、稜線  $L$  が曲面パッチと交差するかどうかを判断する。取り込んだ計測点群データは稜線  $L$  との直交する  $x-y$  平面  $z = z_0$  へ投影される。この平面上で直線  $x = x_0$  と  $y = y_0$  は平面を4区域に分ける。そして、各区域に計測点群データの投影点があるかどうかを判断する。全ての4区域の中に投影点があれば、稜線と曲面パッチと交差することが判明される。この以外の

場合には、交差しないと見なす。稜線と曲面パッチと交差すると、3.1節に述べたように、式(7)、(8)を用いて、キューブ稜線上一つの交差点  $\mathbf{P}$  を生成する。ここで、求められた交差点が再標本化された曲面パッチの頂点であることにする。同様にして、他の11本の稜線に対して判断を行なう。もし全部12本の稜線上に交差点がなければ、3次元形状モデル表面をこのキューブに分割していないことが明らかになる。

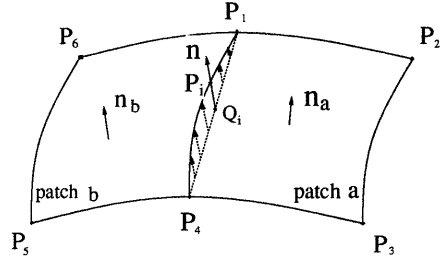


Fig. 7 The generation of resampling point on boundary

図7に示すような隣接している二つ曲面パッチの頂点を  $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3, \mathbf{P}_4, \mathbf{P}_5, \mathbf{P}_6$  ( $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_4$  を共有する) とする。

ここで、曲面パッチ上に  $M \times M$  個の再標本化点を生成することを設定すると、曲面パッチ境界線上の再標本化点の数が  $M$  個であることが決まる。曲面パッチ境界線上  $M$  個再標本化点を生成するために、まず、キューブの同一面上にある二つの曲面パッチ頂点  $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_4$  を用いて、その二つの頂点で決められた線分  $\mathbf{P}_1\mathbf{P}_4$  上に  $M$  個の点列を次式のように計算する。

$$\mathbf{Q}_i = \mathbf{P}_1 + (i-1) \times \frac{\mathbf{P}_1 - \mathbf{P}_4}{M-1} \quad (9)$$

$$i = 1, 2, \dots, M$$

ここで、 $\mathbf{Q}_i$  は線分  $\mathbf{P}_1\mathbf{P}_4$  上の点である。

次に、隣接している二つ曲面パッチのそれぞれの方向法線ベクトルを確定する。図7に示すような曲面パッチ a, b の単位法線ベクトル  $\mathbf{n}_a$  と  $\mathbf{n}_b$  が次式のように求められる。

$$\mathbf{n}_a = \frac{(\mathbf{P}_3 - \mathbf{P}_1) \times (\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_4)}{\|(\mathbf{P}_3 - \mathbf{P}_1) \times (\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_4)\|} \quad (10)$$

$$\mathbf{n}_b = \frac{(\mathbf{P}_4 - \mathbf{P}_6) \times (\mathbf{P}_1 - \mathbf{P}_5)}{\|(\mathbf{P}_4 - \mathbf{P}_6) \times (\mathbf{P}_1 - \mathbf{P}_5)\|} \quad (11)$$

得られた $n_a$ と $n_b$ を用いて、

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{n}_a + \mathbf{n}_b}{\|\mathbf{n}_a + \mathbf{n}_b\|} \quad (12)$$

によって、曲面パッチ境界線上の再標本化点における面単位法線ベクトル $\mathbf{n}$ が得られる。

つづいて、すでに求めた線分 $P_1P_4$ 上にある $M$ 個点列 $Q_i$ とこの単位法線ベクトル $\mathbf{n}$ を用いて、式(6)によって、 $M$ 本の空間直線が作成される。各空間直線に対して、直線に最近距離の3点を計測点群データから選択する。式(7)、(8)を用いて、この $M$ 本の直線がそれぞれ3次元形状モデルの表面との交差点が求められる。求められた $M$ 個の交差点がこの曲面パッチ境界線上の $M$ 個の再標本化点にすることにする。これらの $M$ 個再標本化点が曲面パッチの1本の境界線を構成する。

キューブの中の曲面パッチが図3(a)に示すような三角形の場合に、この三角形曲面パッチが1本の境界線を頂点に縮退した四角形曲面パッチと見なして、この特殊な頂点を縮退点と呼ぶ。三角形曲面パッチの再標本化においては、その3本の境界線上の再標本化点が上述の四角形曲面パッチの場合と同じように生成される。また、次節で曲面パッチ内の再標本化点を生成するために、その縮退点を決定しなければならない。この縮退点を決定するのは、以降の手順で行なう。まず、三角形曲面パッチの三つの頂点に対して、各2点で構成する線分の長さを計算し、その内、長さが最短の線分との相対する頂点が縮退点とすることにする。次に、得られた縮退点が境界線を縮退したものとするため、この縮退点が $M$ 個の再標本化点に共有される。

### 3.3 曲面パッチ内の再標本化点の生成

3.2節で曲面パッチ境界線上生成された再標本化点を用いて、曲面パッチ内の再標本化点を生成することができる。

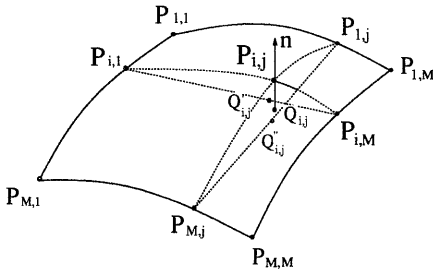


Fig. 8 The generation of resampling point on surface

図8に示すように、曲面パッチ内の再標本化点 $P_{i,j}$ に着目する。 $P_{i,j}$ に対応している境界上の四つの再標本化点 $P_{i,1}$ 、 $P_{i,M}$ と $P_{1,j}$ 、 $P_{M,j}$ を選択する。この4点で決められた線分 $P_{i,1}P_{i,M}$ と $P_{1,j}P_{M,j}$ 上にそれぞれ $M$ 個の点列を次のように生成される。

$$Q'_{i,j} = P_{i,1} + (j-1) \times \frac{P_{i,M} - P_{i,1}}{M-1} \quad (13)$$

$$Q''_{i,j} = P_{1,j} + (i-1) \times \frac{P_{M,j} - P_{1,j}}{M-1} \quad (14)$$

$i, j = 1, 2, \dots, M$

ここで、 $Q'_{i,j}$ は線分 $P_{i,1}P_{i,M}$ 上にある点列であり、 $Q''_{i,j}$ は線分 $P_{1,j}P_{M,j}$ 上にある点列である。得られた $Q'_{i,j}$ と $Q''_{i,j}$ を用いて、

$$Q_{i,j} = \frac{Q'_{i,j} + Q''_{i,j}}{2} \quad (15)$$

によって、 $Q_{i,j}$ が求められる。

次に、再標本化点 $P_{i,j}$ における単位法線ベクトル $\mathbf{n}$ を次式のように決定する。

$$\mathbf{n} = \frac{(P_{i,M} - P_{i,1}) \times (P_{1,j} - P_{M,j})}{\|(P_{i,M} - P_{i,1}) \times (P_{1,j} - P_{M,j})\|} \quad (16)$$

得られた $\mathbf{n}$ と $Q_{i,j}$ を用いて、式(7)によって空間直線 $\mathbf{P}(t)$ が作成される。この直線に最近距離の3点を計測点群データから選択し、式(7)、(8)を用いて、空間直線が3次元形状モデル表面との交差点 $P_{i,j}$ が求められる。求められた交差点 $P_{i,j}$ が曲面パッチ内の再標本化点にすることにする。 $Q_{i,j}$ が $i, j$ によって替わると、整列的な交差点が求められて、曲面パッチ内に $M \times M$ 個の再標本化点が生成される。

曲面パッチは三角形パッチの場合、前節で述べたように、三角形パッチの一つの頂点は四角形曲面パッチの1本の辺を縮退したものと見なして、四角形曲面パッチの場合と同じように曲面パッチ内の再標本化点を生成する。

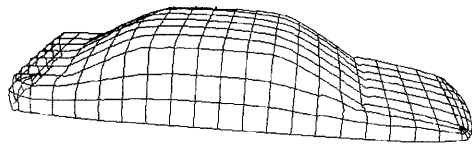
## 4 実験

### 4.1 実験結果

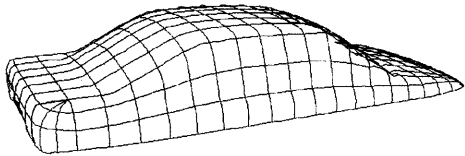
提案する手法により、3次元形状モデルの計測点群データを用いて、再標本化する実験を行なう。得られた実験結果により、提案する方法の有効性を検証した。



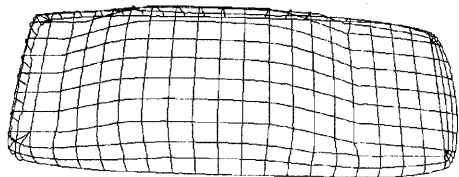
Fig. 9 The measurement data of a car model



(a)



(b)



(c)

Fig. 10 The resampling result of the car model

図9では、大きさは実物の1/4である一つの車のモデルにおける3次元計測点群データを示している。モデルの大

きさは110.1×42.6×29.4(単位: cm)で、計測された点群データの数は70421個点がある。再標本化の結果を図10に示す。図10(a), (b), (c)は再標本化点により、再構成された車の形状を三つの方向からみたメッシュ図である。その再標本化点はメッシュの交差点で示されている。この車のモデルに対して、分割された曲面パッチの数は32個で、一つの曲面パッチは4×4個の再標本化点がある。すなわち、図10に示す車のモデルはそれぞれ512個の再標本化点で構成されたものである。

## 4.2 誤差評価

提案手法により、再標本化した3次元形状モデルを用いて、誤差の客観評価を行なう。評価基準としてRMSE(Root Mean Square Error)を用いる。ここで、 $k$ 番目の $i$ 行 $j$ 列( $i, j = 1, 2, \dots, M$ )の曲面パッチ内におけるRMSEは次式で表される。

$$R_k = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \|P_{k,i,j}(x_h, y_h) - D_h\|^2 \quad (17)$$

ここで、 $D_h$ は

$$x_i < x_h < x_{i+1}, y_j < y_h < y_{j+1}$$

となる形状モデル表面上の1個の3次元計測点群データを表す。補間点 $P_{k,i,j}$ は再標本化点によって、3次Bézier自由曲面式で求められた点である。 $x_i, x_{i+1}, y_j, y_{j+1}$ は、再標本化点を曲面パッチの法線ベクトル方向に座標変換した値で、 $x_h, y_h$ は計測点群データを曲面パッチの法線ベクトル方向に座標変換した値である。式(17)で表される $R_k$ を全体の曲面パッチについて加算すれば、形状モデルの表面全体のRMSEの $R$ を表すことができる。

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N R_k}{N \times M \times M}} \quad (18)$$

車のモデルのRMSE誤差評価の結果を図11に示す。曲面パッチ内の再標本化点の数を変わらず、4×4そのままにしておいて、曲面パッチの数を横軸に示すように変わる。その結果、曲面パッチの数が多くしていくと、再構成されたモデルの3次元自由曲面の誤差は小さくすることが明らかになる。

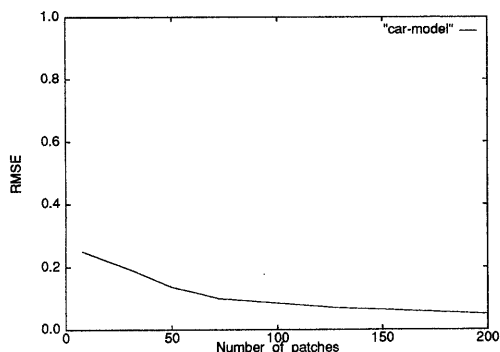


Fig. 11 The REMS evaluation of the resampling result

## 5 結論

キューブ分割による3次元形状モデル計測点群データの再標本化する手法を提案し、計測点群データを再標本化した実験結果により、提案手法の有効性を確かめた。提案手法により、計測された3次元離散点群データを自動的に再標本化することができるようになる。更に、レンジ画像から3次元形状モデルを自動生成できる。また形状モデルを詳細に自由曲面表現式で再現することにより、形状モデル上の任意の位置の幾何学的情報の抽出、3次元コンピュータグラフィックスにおける形状モデリングなど操作が実現することができる。

提案するアルゴリズムの汎用性を高めることは可能だが、ここで、3次元形状モデルを各キューブに分割する際に、2.2節で設けた仮定を満足しなければならない。複雑な形状モデルの場合、その仮定を満たすために、形状モデルを分割するキューブの数が増えることは必要である。また、各キューブを生成するのは座標系の $X, Y, Z$ 軸に沿ってクロスセクションを行なうため、3次元形状モデルの主軸を座標軸に変換すれば、その仮定を最大限度に満足できる。現在、我々は座標変換のため形状モデルの主軸の確定における研究を進めている。

## 参考文献

- [1] Yamamoto, H., Tamune, M., Tamura, H.: "Range Finding and Range Data Processing : A Survey", PRU86-129, pp. 49-59. (1986)
- [2] 荒木, 田中, 藤野, 佐藤: "高速3次元形状計測装置の試作", 信学論, vol.J71-D, no. 10, pp. 2059-2068. (1988)
- [3] Takasaki, H.: "Moire topography," *Appl. Opt.*, vol. 9, no. 6, pp. 1467-1472, (1970)
- [4] Jarvis, R. A.: "A laser time-of-flight range scanner for robot vision," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-5, no. 5, pp. 505-512. (1983)
- [5] 塩谷: "3次元CAD/CAMにおける形状処理技術," 日刊工業新聞社, (Jan. 1989)
- [6] 鄭, 原島: "不変特徴に基づく三次元曲面の表現" 信学技報, IE93-123, pp. 31-38. (1994)
- [7] 西野, 秋山, 小林: "光切断法による3次元立体形状計測と形状再構成," 信学論, vol.J72-D-II, no. 11, pp. 1778-1787, (1989)
- [8] 天野, 坂口, 美濃, 池田: "3D model generation from a range image by regularization," 信学技報, PRU92-58, pp. 1-8. (1992)
- [9] 長島, 鈴木, 永野: "生体計測用自由形状処理システム", グラフィクスとCAD 38-3, (May 1989)