

距離画像からの階層化適応型パッチ生成法

内 山 晋 二[†] 山 本 裕 之[†] 田 村 秀 行[†]

グラフィック表示, 特にバーチャルリアリティに用いるための幾何形状モデルを, 実物体から生成する一手法を述べる。本手法では, 距離画像から物体の形状変化に応じた, 適応的な大きさを持つ三角形パッチを生成する。そのために, 距離画像の解像度を变化させてピラミッド構造を作成し, 各レベルでジャンプエッジとルーフエッジを抽出する。抽出されたエッジを合成し, 合成結果からドロネー網を用いてメッシュ構造, パッチデータを生成する。さらに, この形状モデルに含まれる形状表現能力を段階的に変化させ, 階層的なデータ構造を構成する。本手法で生成される形状モデルでは, 形状の表現能力を低下させずに冗長なデータが削除されている。また, 階層を切り替えることで, グラフィック表示系の要求に応じて最適の形状表現を用いることが可能であり, 情景全体の描画速度を向上できる。手法の詳細と共に, 対象物体を全周から観察した距離画像を用いた実験結果を示す。さらに, グラフィック表示を前提とした形状モデルの評価手法を提案し, 本手法から得られる三角形パッチの評価を行う。

Hierarchical Shape Representation with Adaptive Meshes from a Range Image

SHINJI UCHIYAMA,[†] HIROYUKI YAMAMOTO[†] and HIDEYUKI TAMURA[†]

We present a method for constructing a graphic polygonal patch model, which are suitable for applications such as virtual reality, from a range image. A characteristic of our approach is that the patches recovered in a model are adaptive, that means the size of each patch is determined according to their local curvature of surface. To achieve this, we make pyramid data structure of the image, then detect ridge elements, such as roof edges and jump edges, locally on each level. To construct globally consistent patches, we merge all the ridge elements and remove inconsistent elements. Finally, the Delaunay diagram is used to construct mesh structure. In addition to the adaptability, we construct this model hierarchically. This hierarchical model is useful, especially for the virtual reality application. By dynamically selecting a level in its hierarchy, we can use high resolution model where needed and get high display rate to render the scene that has many objects. In this paper, we show an experimental result with a radial range image as well as the details of these modeling methods. And a new evaluation method of a graphic model is proposed and the result on these modeling methods is evaluated. This evaluation method assumes that the application of the graphic model is not recognition but display, and is based on the error of normal vector at each pixel.

1. はじめに

我々は, グラフィック表示, 特にバーチャルリアリティ (VR) での立体表示に適した幾何形状モデルを生成する研究を行っている。近年, グラフィック技術の進歩によりリアルな表示が可能となっているが, さらにリアルな形状表現を実現するためには, 実世界から形状を入力する手法が必要不可欠である。画像計測技術の発展と共に, 距離計測装置を利用した実物体の形状入力が比較的一般的かつ容易に行えるようになりつつある。

距離計測装置から得られる物体表面上の点群データを用いて, 幾何形状モデルを表現する手法には, ポリゴンパッチ表現と NURBS に代表される自由曲面表現の2つの手法が考えられる。ポリゴンパッチ表現は, 頂点データとその接続関係という簡便な記述で表現できる上, それを高速に描画できるハードウェアも利用可能であるため, 既存の物体の形状モデリングと表示に広く利用されている。

しかし, このポリゴンパッチ表現を生成・利用する上で, 形状の表現能力を向上させると一般にパッチの数が増加し, 表示のための描画時間が増加する。逆に, 描画時間を短縮するためには, 一般にパッチ数を減らして表現能力を犠牲にする必要がある。このよう

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

なトレードオフを解決するために、形状変化の激しい領域には小さなパッチを、緩やかな領域には大きなパッチを当てはめる（以後、適応型パッチと呼ぶ）研究が行われている^{1)~4)}。

田中らの手法²⁾は、均等格子状のメッシュを4分割する直角二等辺三角形から出発し、3次元曲率を利用して三角形を2つの直角二等辺三角形へと順次分割して、適応的にパッチを生成するものである。その際、1つの三角形の辺上に他の三角形の頂点がないよう、工夫をしている。なぜならば、このような場合が発生すると、計算誤差等により、この部分が表示時に実際には存在しない透き間として現われるためである。これをクラック問題と呼ぶ。しかし、この手法では、例えば、円柱のように軸方向の表面形状の変化が少ないものに対しては、直角二等辺三角形のパッチしか生成できないため、軸方向に多くの三角形が生成される問題点がある。

一方、VR分野では、これとは異なった方法で形状表現能力を保ったまま描画速度を短縮することが可能である。例えば、人間の視覚特性を利用して観察者の視覚観察能力を示す視力係数を画面内で推定し、観察能力の低い部分では粗い形状モデルを利用することができる⁵⁾。これは、リアルタイム対話性を重視するVR分野では、対話デバイスや視線検出装置を利用できるため可能な方法である。ポリゴンパッチ表現を用いてこの方法を利用するためには、1つの対象に対して、形状の表現レベルが段階的に異なる階層化された形状モデルが必要である。

以上の考察をもとに、本論文では

- 1) クラック問題が原理的に発生しないような、曲率に応じた大きさの適応型パッチを生成する手法、
- 2) さらに、この適応型パッチを階層的に生成する手法

を提案する。さらに、全周から対象物体を計測した全周型距離画像にこの手法を適用し、実験結果を示す。最後に、グラフィック表示を前提とした形状モデルの評価手法を提案し、先の実験結果を用いて本手法の評価を行う。この評価手法は、表示時の明るさの誤差に相当する法線方向の誤差に基づく手法である。

以下、第2章では適応型パッチの生成法、第3章ではその階層化手法、第4章では実験結果とその評価を示す。

2. 適応型三角形パッチの生成

本章では、適応型三角形パッチの生成手法を説明し、これを全周型距離画像へ適用するための工夫を述べる。

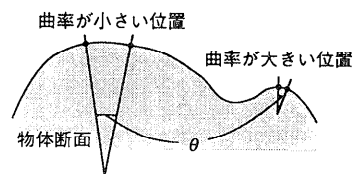
2.1 適応型三角形パッチの生成原理

物体表現の形状変化に注目すると、図1(a)に示すようにその断面は様々な曲率成分を持つ。1章で述べた「なだらかな形状変化をもつ部分には大きなパッチを、細かな形状変化をもつ部分には小さなパッチを設定する」という方針は、曲率の概念を用いることで「曲率半径（曲率の逆数）に比例した大きさのパッチを設定する」ことで実現できる。以下では、この曲率半径に比例した大きさのパッチを求める原理を述べる。

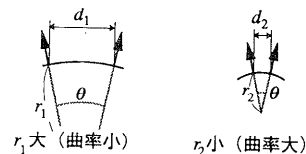
物体断面上に近接する2点を設け、その2点間を断面に沿って徐々に広げて行くことを想定する。2点の法線ベクトルのなす角がある一定値 θ になった時、2点間の距離 d は、図1(b)に示すように、

$$d = 2r \sin \frac{\theta}{2} \quad (1)$$

で求められる。ここで、 r は曲率半径である。この式(1)から、2点の法線ベクトルのなす角 θ を一定にとれば、間隔 d は曲率半径 r に比例することがわかる。すなわち、近接する表面の2点間で、法線ベクトルのなす角がある一定値になるとき、その2点間は



(a) 物体断面と曲率
(a) Cross section and curvature



(b) 曲率半径と表面上の間隔との関係
(b) Relation between radius of curvature and sampling interval

図1 形状変化とパッチの大きさ

Fig. 1 Relation between surface shape and patch size.

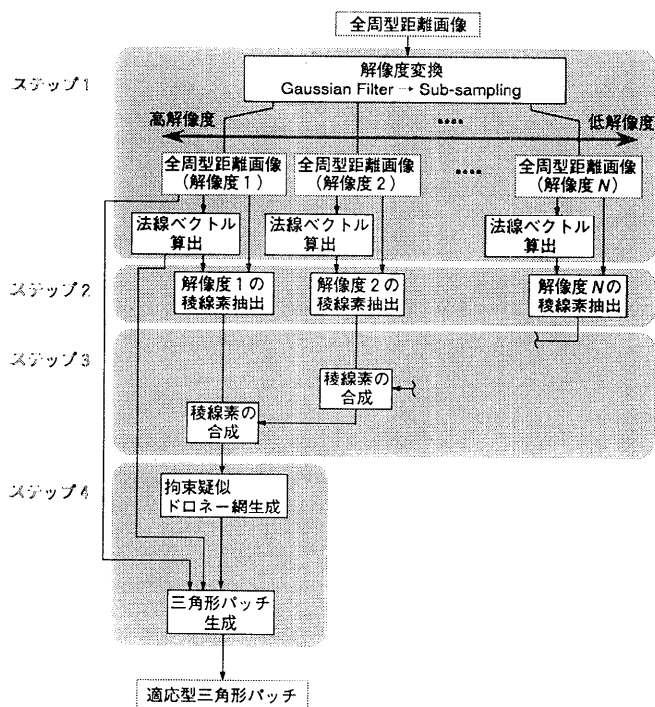


図2 適応型三角形パッチの生成の流れ
Fig. 2 Flow chart for constructing adaptive triangular patches.

曲率半径に比例した間隔となる。そこで、これら2点間に三角形パッチの一边を設定することで、曲率半径に比例した大きさのパッチが生成できる。

実際には、距離画像は離散的な点の3次元位置を計測したデータに過ぎない。そのため、物体表面上で連続的に2点を設定することは不可能である。しかし、表面の形状変化に対して計測が十分に密に行われているという仮定のもとでは、法線ベクトルのなす角が予め定められた値になったときの画素間隔で、連続的に点を移動させて求めた曲率半径に比例した間隔を近似できると考えられる。この原理に基づいて次に述べる処理手法で適応型パッチを生成する。

2.2 適応型パッチの生成処理

上述の原理に従い、適応型三角形パッチを生成する手法を図2に示す。以下、この流れに添って各処理を詳しく説明する。

ステップ1 複数解像度の距離画像の生成

入力距離画像のノイズ・高周波成分を除去し複数解像度の距離画像を生成する。そのために、まず距離画像をFFTした結果と次式のローパスフィルタとの積を求め、その結果を逆FFTする。

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_f^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_f^2}\right) \quad (2)$$

ただし、 σ_f は、 $\sigma_f = 2 \times 2^n$ (単位は画素) で与えられる計数である。すなわち、 2×2^n 画素よりも短い周期の高周波成分を除去するローパスフィルタとなる。FFTによる処理では、画像面の上下端および左右端が連続的に繰り返されていることを仮定している。そこで、画像の上下左右端に一定値のデータを付加し、計測データがこれに滑らかに接続するように工夫して、この問題点を回避する。

$n=1..N$ と変化させながらこの処理を適用する。このフィルタリングにより生成される距離画像は、高周波成分を取り除いただけで解像度は初期のままである。そこで、結果画像を 2^n 画素間隔で間引くことで、 N 枚の解像度の異なる画像を生成する。

また、ローパスフィルタを通した後の画像、すなわち 2^n 画素間隔で間引

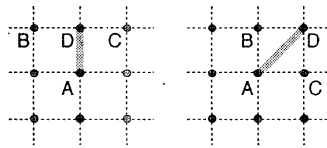
く前の画像に対して、8近傍画素で平面近似を行い、各解像度・各点での法線ベクトルを求める。

ステップ2 稜線素の生成

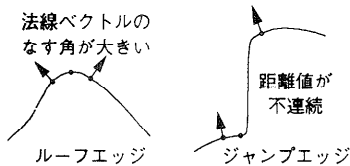
各解像度の距離画像で、図3(a)に示すように注目画素の周りの画素BとCの法線ベクトルの間の角度が、予め定めた閾値 θ (本稿で行う実験では 15° を用いる) より大きな場合、画素AとDの間にルーフエッジ (図3(b)) を設定する。さらに、画素BとCの間の距離が一定値を越える場合も、ジャンプエッジ (図3(b)) を画素AとDの間に設定する。これらの処理を、注目画素を中心に8近傍方向に対して行う。

法線ベクトル間の角度を求める際、2.1節で述べた原理を用いるため以下の工夫を施す。まず、画素BとCの法線ベクトルを、それらを通り画像面に垂直な平面に射影する。そして、射影された平面上でのベクトル間の角度を法線ベクトル間の角度とする。

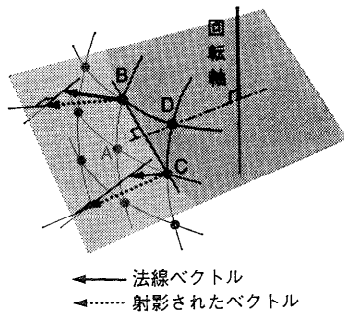
このようにして抽出されたエッジセグメントは、前節で述べた曲率半径に比例した大きさのパッチの一边の候補であり、以後稜線素と呼ぶ。また、稜線素情報を含む1枚の画像を稜線素マップと呼ぶ。



(a) 稜線素抽出のための注目画素
(a) Operating pixels to detect a ridge element



(b) ルーフエッジとジャンプエッジ
(b) A roof edge and a jump edge



(c) 法線ベクトルの平面への射影
(c) Projection of normal vectors

図 3 稜線素の抽出
Fig. 3 Detecting a ridge element.



図 4 稜線素の矛盾の処理
Fig. 4 Processing inconsistent ridge elements to remove.

ステップ 3 稜線素マップの合成

低解像の稜線素マップから順次高解像度との稜線素の論理和を計算し、合成稜線素マップを作成する。このとき、図 4 に示すように各稜線素マップで矛盾を生じる場合、高解像度側の稜線素を優先する。さらに、合成稜線素マップで定められた長さ以下の孤立稜線素は除去する。

ステップ 4 三角形パッチの生成

上述で得られる合成稜線素マップから、三角形の網構造を作成する。ここでは、稜線素の線分を三角形の

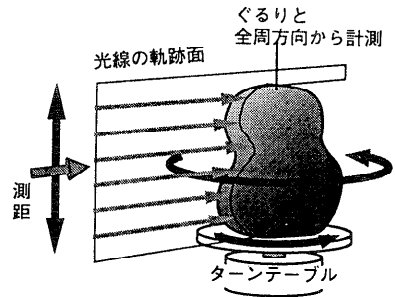
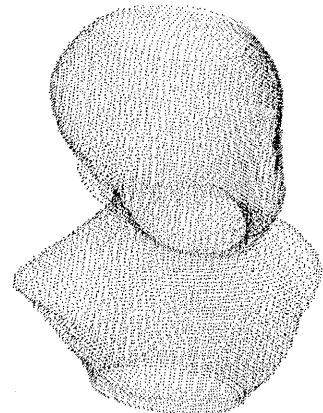


図 5 全周型距離画像入力概念
Fig. 5 A system for radial range range imaging.



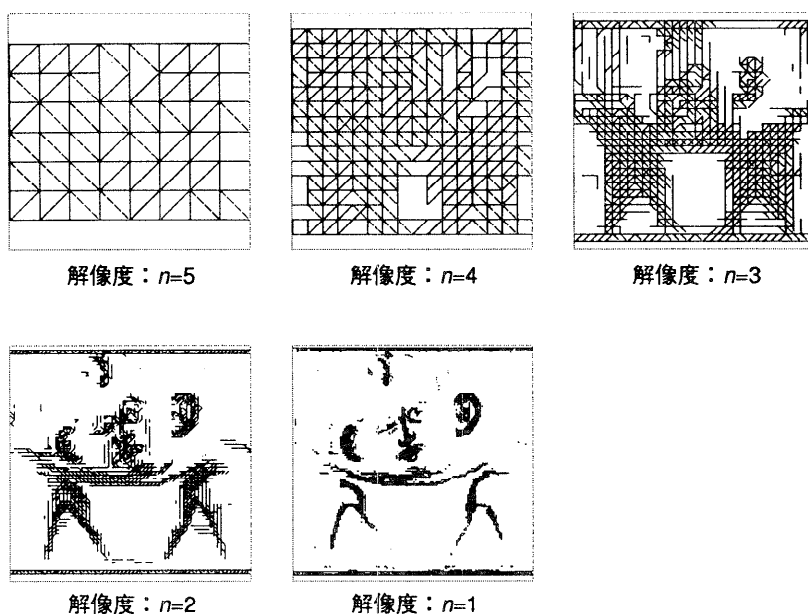
(a) 全周型距離画像
(a) A radial range image



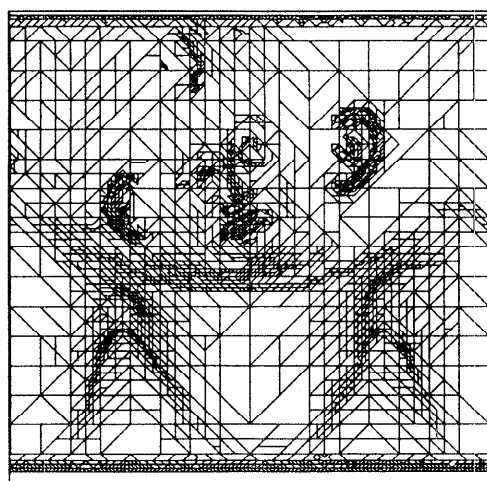
(b) (a)を空間中にプロット
(b) Plotting radial range image in 3-D space

図 6 全周型距離画像
Fig. 6 An example of radial range image.

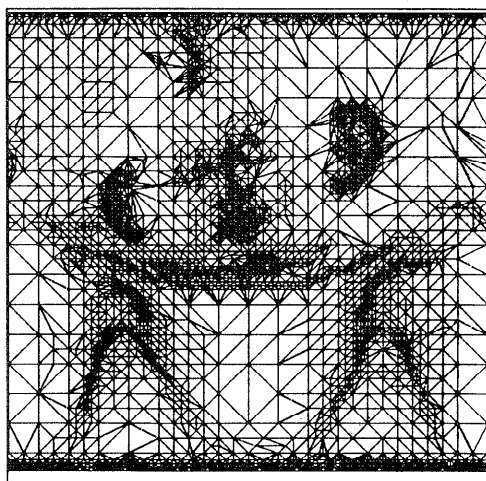
辺として固定しながら、それらの端点を母点とするドロネー網（拘束擬似ドロネー網）を作成し⁶⁾、三角形の網構造とする。通常のドロネー網ではルーフエッジ



(a) 稜線素抽出結果
(a) Detected ridge elements



(b) 稜線素合成結果
(b) Compounded ridge elements



(c) 三角形の網構造の生成
(c) Constructing triangular net structure

図 7 適応型三角形パッチ生成過程

Fig. 7 Process of constructing adaptive triangular patches.

やジャンプエッジを含んだ、3次元の幾何構造と矛盾する三角網が生じる問題がある。これに対し、拘束擬似ドロネー網はこの問題を解消した手法である。

最後に、三角網の各頂点位置での3次元位置を最高解像度の全周型距離画像から、法線ベクトルをステップ1で得られた最高解像度のデータから求め、適応型

三角形パッチによる形状データを出力する。

上述したように本手法では三角形パッチの生成にドロネー網を利用している。従って、文献2)で議論されているT字接続点が発生せず、原理的にクラック問題が発生しない。また、拘束擬似ドロネー網を利用することで、立体情報を反映していないメッシュ構造を

除去すると同時に、拘束がないドロネー網を用いた場合に比べて三角形パッチの数に変化がないので描画速度への影響もない。

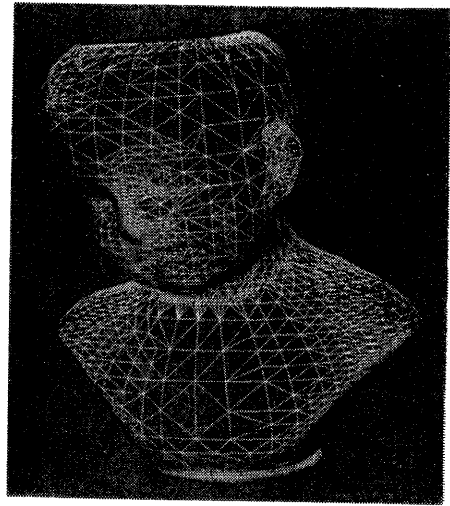
2.3 全周型距離画像への適用

全周型距離画像とは、図5に示すように対象物体をターンテーブル上に設置し、テーブルを回転させながら一定方向から観察するなどして入力される距離画像である。図6は、この全周型距離画像の1例である。このようにこの距離画像では、横軸がターンテーブルの回転角、縦軸が対象物体の高さ、画素値が回転軸からの物体の半径となるようにデータが格納されている。したがって、通常の画像とは異なり、データの左右両端が接続された円柱座標系で構成されている。このように、全周型距離画像には対象物体の全周から距離情報が含まれており、対象の幾何モデルの生成に有効である。

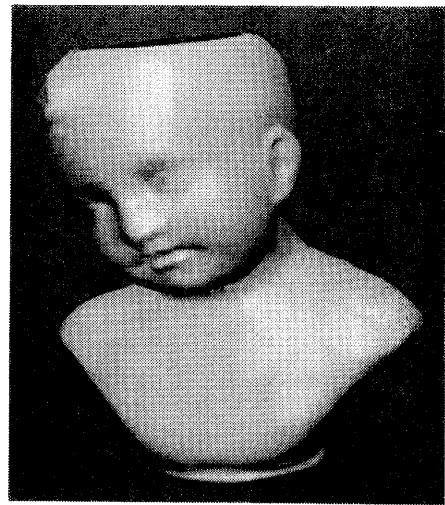
本稿では、我々の開発した距離画像計測装置 FLIGHT⁷⁾ により入力されたデータを用いる。この装置は、レーザ光による位相差計測法⁸⁾ に基づいた計測装置であり、その計測精度は、奥行き方向に 0.1 mm 以下である。また、物体を載せる回転台の回転角は 0.05° 単位で制御可能であり、高さ方向はレーザ光をミラーにより走査することで 0.1 mm 単位で計測される。

2.2 節で述べた適応型パッチの生成処理は、通常の距離画像へ適用されるが、全周型距離画像へ適用する上で改良を要する。第1の改良点は、ステップ1でFFTを実行する際、全周型距離画像では左右端が接続した円柱型座標系になっており、左右端においては特別な考慮を必要としない点である。すなわち、全周型距離画像の左右端の連続性を活用したフィルタリングを行える。第2の改良点は、ステップ4で拘束擬似ドロネー網を生成する際、画像の左右端での接続性を考慮して三角形網を生成する必要がある。この点については、文献6)で報告した手法を用いる。また、ステップ2において、各点の法線ベクトルを射影する平面は、画素BとCを通りかつ回転軸に垂直な直線を含む平面となる(図3(c))。

これらの点を考慮して、図6の全周型距離画像から適応型パッチを生成する過程を図7に示す。その結果得られた適応型三角形パッチを図8に示す(図8(a)はワイヤフレーム表示、図8(b)はGouraud Shadingによるサーフェス表示)。ここで生成される適応型三角形パッチの評価については、第4章で述べ



(a) ワイヤフレーム表示
(a) Wire frame



(b) サーフェス表示 (Gouraud shading)
(b) Surface rendering (Gouraud shading)

図8 適応型三角形パッチの結果表示
Fig. 8 Rendering adaptive triangular patches.

る。

3. 適応型三角形パッチの階層化

第2章で述べた適応型三角形パッチを生成する過程を改良することで、階層化された適応型三角形パッチを生成する。階層化適応型三角形パッチを生成する処理の流れを図9に示す。以下、この流れに添って各処理を説明する。

ステップ 1 および ステップ 2

第 2 章の適応型三角形パッチを生成する場合と同じである。

ステップ 3' 稜線素マップの合成

高解像度側の情報を優先して、低解像度のマップから順次高解像度の稜線素マップと合成する。このとき、順次合成する過程の中間合成結果も保存する。

ステップ 4' 三角形パッチの生成

ステップ 3' で保存された合成過程の中間結果それぞれに対して、拘束疑似ドロネー網を適用し三角網を生成する。この手法は、2.2 節ステップ 4 と同一である。これにより、空間解像度の異なる三角網が段階的に生成される。この様子を図 10 に示す。次に 2.2 節ステップ 4 と同一の手法で、三角形パッチを生成する。

ステップ 5 階層データの処理

ステップ 4' で得られる各適応型三角形パッチから、一つの階層化データに変換する。我々の手法では、空間分解能の低い階層の三角形パッチの頂点

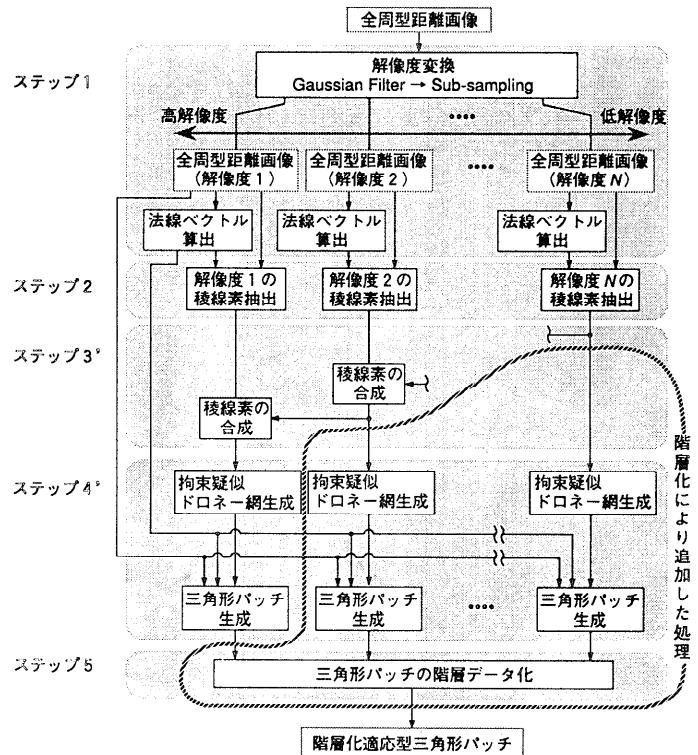


図 9 階層化適応型三角形パッチの生成の流れ

Fig. 9 Flow chart for constructing hierarchical adaptive triangular patches.

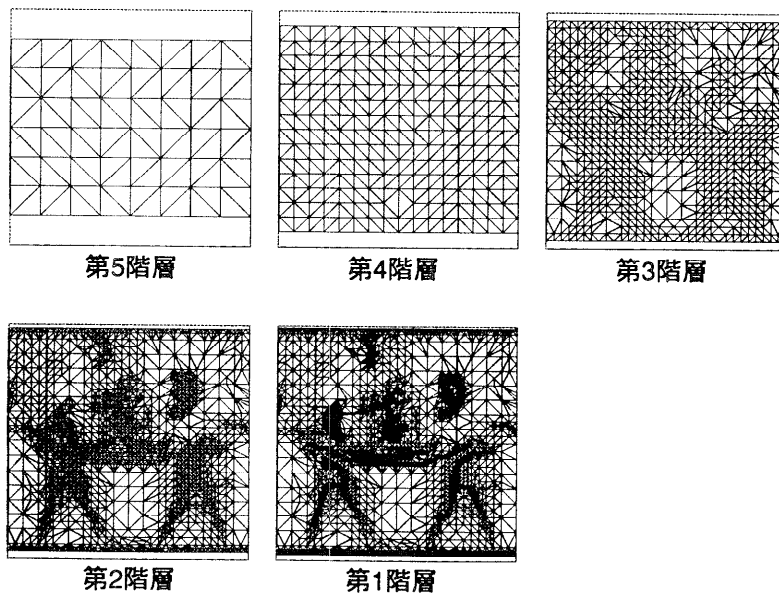


図 10 階層的な三角網

Fig. 10 Hierarchical triangular diagram.

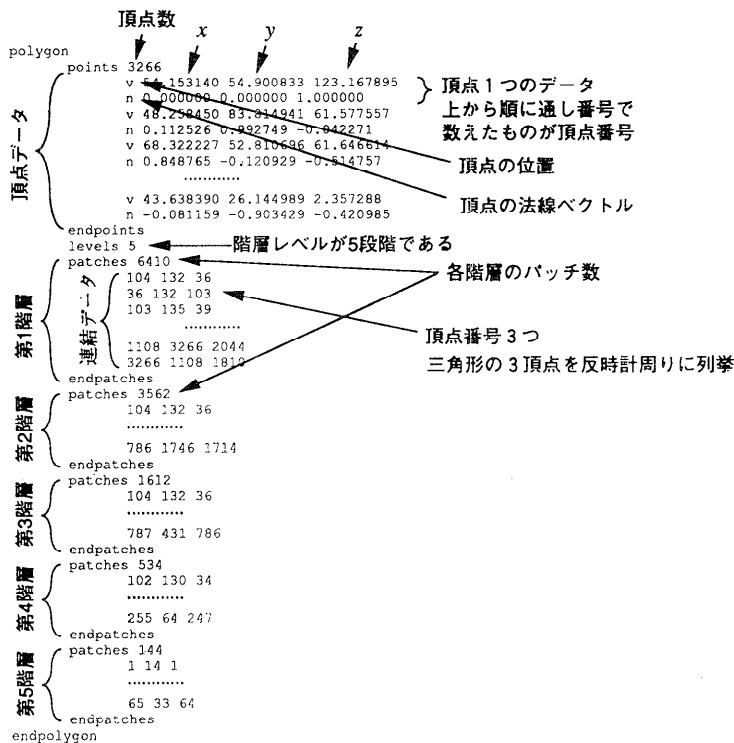


図 11 階層化データのデータ形式

Fig. 11 Data format of hierarchical data.

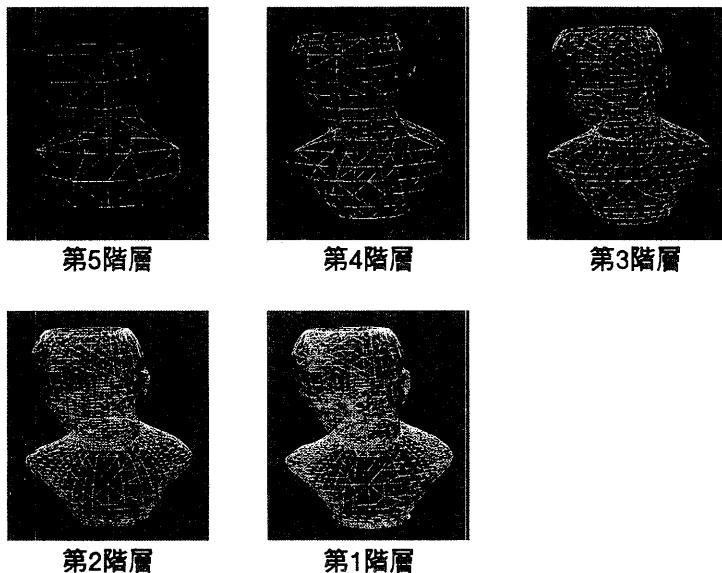


図 12 階層化適応型三角形パッチ生成結果

Fig. 12 Constructed hierarchical adaptive patches.

が、高い階層の頂点の一部となっている。そこで、頂点に関しては各階層の頂点データを保存する必要はなく、最高の空間分解能を持つ階層（第2章の図8に相当）の頂点データのみを保存すればよい。そして、各階層の三角網の連結情報を保存する。このデータ形式を図11に示す。このようにして得られた階層化適応型三角形パッチを図12に示す。

このように、階層化データは、形状の表現能力の異なる複数のデータを格納している。データ量に関しても、頂点の共有の特徴を利用することで、階層化しない場合に比べて図12の場合で約30パーセントの増加に留まっている。

4. 三角形パッチの評価

物体を三角形パッチにより再構成する手法において、その表現精度として体積誤差がしばしば利用される¹⁾。これは、物体を多面体によって近似しているという概念に基づいた評価方法であり、簡便かつ直感的である。

しかし、本研究の背景にあるように、対象の三次元幾何モデルをグラフィック表示に利用するような場合には、三角形パッチはスムーズシェーディングにより描画される。そこで、このような表示の効果を考慮した、新しい評価手法が必要とされる。

本章では、見た目の誤差を反映するため「法線方向誤差」による表現精度を提案し、この評価手法と従来から考察されている体積誤差による評価手法との比較・考察を行う。

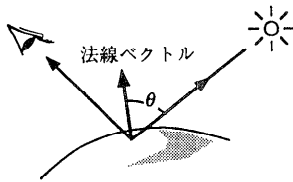


図 13 法線ベクトルと明るさ
Fig. 13 Principle to determine intensity on surface.

4.1 法線方向誤差による表現精度

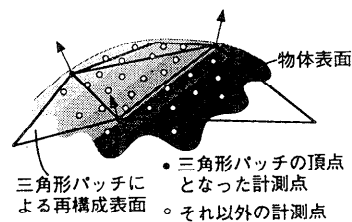
物体表面を石膏などの完全拡散面と仮定すると、観察者に観察される各点の明るさは、図 13 のように入射光方向と各点の法線ベクトルとの間の角度 θ のみに依存し、 $\cos \theta$ に比例する⁹⁾。一般的な物体の表面材質は完全拡散面ではないためこの法則は成り立たないが、物体各点の法線ベクトルが観察される明るさを決定する大きな要因であることは変わらない¹⁰⁾。そこで、この事実に基づいて物体表面各点の法線ベクトルの誤差による評価を「見た目の表現精度」として新たに提案する。

法線ベクトルは、グラフィック表示の際にも表現能力の向上に利用されている。Phong Shading 法では、各三角形パッチの 3 頂点の法線ベクトルから、パッチ内各画素の法線ベクトルを線形補間により求め (Phong 補間¹¹⁾)、求めた法線ベクトルと位置、各種光源情報から描画色を計算する。この手法の効果により、三角形パッチにより構成される多面体は、滑らかな表面として観察される。ここで提案する精度評価も、この Phong 補間に基づいた手法である。すなわち、距離画像から計算される法線ベクトルと、三角形パッチにより補間された法線ベクトルとを画像各点 (以後、計測点) で比較し誤差を求める。

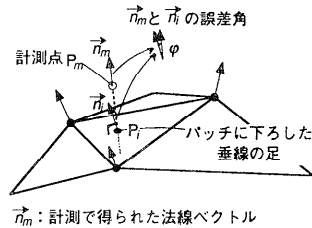
しかし、全周型距離画像から生成される幾何形状モデルに関して、この誤差を用いてその表現精度の評価を行う上で次の 2 つの問題が発生する。

- 1) 観察者の視点を 1 つに固定すると、対象物体内のパッチが可視と不可視の 2 つに分れ、物体全体での評価が行えない。
- 2) 光源の位置により見た目の明るさは変化し、1 つの評価値を得ることは不可能である。

そこで、第 1 の問題点の解決策として、各三角形パッチに正対する位置からそのパッチを観察すると仮定する。そして、各パッチごとに求めた見た目誤差を合計して幾何形状モデルの表現精度とする。この仮定により、図 14 (a) のようなある三角形パッチにおいて、



(a) 計測点と三角形パッチ
(a) Measured points and triangular patches



(b) 三角形パッチ内での法線ベクトルの補間
(b) Interpolation of normal vector on a patch

図 14 三角形パッチと法線ベクトル
Fig. 14 The method to compute normal vector error.

図 14 (b) のように計測点 P_m の三角形パッチ上での相当点 P_i を、計測点から垂線を三角形パッチに下ろしたときの足として決定できる。第 2 の問題の解決策として、各計測点への入射光は、各点での法線ベクトルと同一方向逆向きから入射すると仮定する。これは、仮想的に物体内に負の光源を設定することに相当し、物体の表面各所に正対した光が入射しているような状況である。

以上の仮定を設けることで、計測点 P_m の法線ベクトル $\vec{n}_m$ とパッチ上で Phong 補間されて計算される点 P_i の法線ベクトル $\vec{n}_i$ の間の角 φ の余弦

$$m = \cos \varphi = \frac{\vec{n}_m \cdot \vec{n}_i}{|\vec{n}_m| |\vec{n}_i|} \quad (3)$$

が、点 P_m での明るさと点 P_i で生成される明るさの差に相当することとなる。よって、「見た目の誤差」としてこの m を用いることとする。すべてのパッチ内の計測点ごとにこの m を計算し、この m が閾値 m_i よりも大きな値を持つ点数の割合、すなわち、

$$\nu = \frac{(m > m_i \text{ である点数})}{(\text{総点数})} \times 100 [\%] \quad (4)$$

を、幾何形状モデルの「見た目の表現精度」とする。

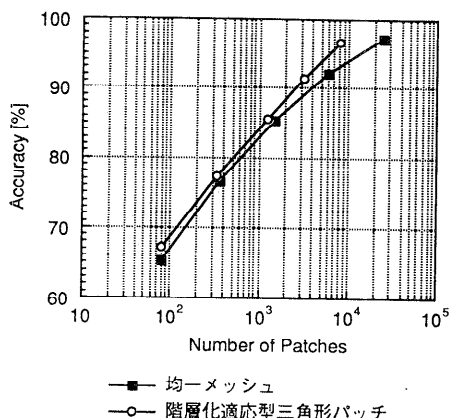


図 15 見た目誤差による表現精度

Fig. 15 Accuracy of recovered shapes in terms of normal vector error.

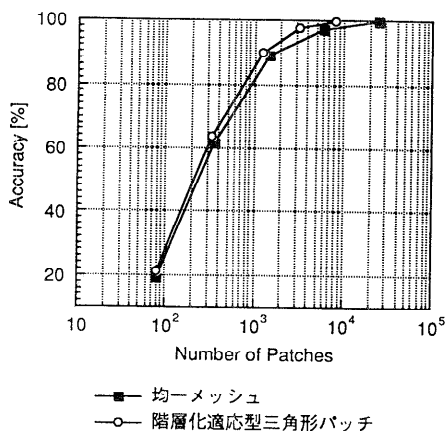


図 16 体積誤差の表現精度

Fig. 16 Accuracy of recovered shapes in terms of volume error.

4.2 評価実験

図 12 の階層化適応型三角形パッチを用いて、誤差評価実験を行った。比較のために、全周型距離画像から等間隔に点を間引いて得られる格子状の点から、均一なメッシュ状の三角網を生成し、それら得られる三角形パッチデータも用いる。

4.1 節で提案した「見た目の表現精度」の評価結果を、図 15 に示す。この評価では、式(4)の閾値 m_i として 0.98 を用いている。これは法線の誤差角度にして、約 11.5° に対応する。グラフの横軸はパッチ数で、縦軸は表現精度 μ [%] である。

この結果と比較するため、従来一般に用いられる体積誤差による精度評価も行った。ただし、距離画像

データのように離散的な計測点群から、真の表面を再構成することは不可能であるので、真の体積誤差を求めることはできない。そこで、計測各点の位置から、最も近いパッチまでの垂直距離を誤差とする。この誤差値をもとに、式(4)と同様に定められた値 (0.5 mm) 以下の誤差を持つ計測点の割合を用いて表現精度を求める。この手法により求めた評価結果を図 16 に示す。

4.3 評価の考察

図 15 および 16 の結果から、以下のことがわかる。

(1) 適応型三角形パッチのグラフは均一な三角網の示すグラフより上に位置し、同一のパッチ数であればより誤差の少ない表現であるといえる。また、適応型三角形パッチは、同一の表現精度を得るために、均一なパッチに比べて数分の一のパッチ数で十分であるとも言える。

(2) 図 15 の均一な三角網の場合、パッチ数の増加に従って右上がりのグラフの傾きが鈍ってくる。それに比較して、本手法の階層化適応型三角形パッチの場合、グラフの傾きの落ち込みが少ない。これは、階層化適応型三角形パッチは、パッチ数の増加に従って、見た目の誤差を減らすために必要な部分のパッチのみ追加されているからであると考えられる。

(3) 図 16 の体積誤差の場合も、均一な三角網によるパッチより本手法の階層化適応型パッチの方が、表現精度の良い結果が得られている。しかし、見た目の表現精度に見られるような大きな相違は認められない。

以上の評価結果に関する考察から、本稿で述べた階層化適応型パッチは「見た目の表現精度」の観点から均一パッチに比べて優れており、三角形パッチを表示する目的に適した形状モデリング手法と言える。

5. む す び

本論文では、実物体からコンピュータグラフィックスで扱える幾何形状モデルを作成する手法について述べた。本論文では、

- (1) 距離画像データを基に表面形状の曲率半径を考慮して適応的に大きさの異なる三角形を配置する適応型パッチ生成手法を提案した。
- (2) (1)の適応的に三角形パッチを生成する過程をさらに発展させて、階層的に三角形パッチを生成する階層化適応型パッチ生成手法を提案した。
- (3) 表示を目的とした「見た目の表現精度」の評価手法を提案した。

第 4 章で述べた実験により、階層化適応型パッチは見

た目の表現精度を落とすことなしに、三角形パッチのパッチ数を減らすことに効果が大きいことが明らかになった。この特徴は、グラフィックワークステーションでの表示スピードに大幅な向上をもたらす。さらに、視覚特性を利用した表示系⁵⁾を利用し、階層を切り替える処理を施せば、表示スピード向上にさらに効果を上げることが期待される。

謝辞 本研究を進めるにあたり、コンピュータグラフィックスの観点から様々なご意見、ご討論をいただいた情報メディア研究所大島登志一氏に感謝いたします。

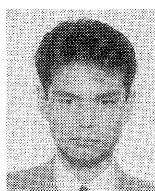
参 考 文 献

- 1) 北村, 木村, 奥富, 田村: 複数解像度の距離画像を用いた三角形パッチによる物体表面の再構成, 第23回画像工学コンファレンス, 13-3, pp. 267-270 (1992).
- 2) 田中, 岸野: 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—, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J76-D-II, No. 8, pp. 1691-1703 (1993).
- 3) Hoppe, H., DeRose, T., Duchamp, T., McDonald, J. and Stuetzle, W.: Mesh Optimization, *Proc. SIGGRAPH*, pp. 19-26 (1993).
- 4) Vasilescu, M. and Terzopoulos, D.: Adaptive Meshes and Shells—Irregular Triangulation, Discontinuities, and Hierarchical Subdivision, *Proc. CVPR*, pp. 829-832 (1992).
- 5) 大島, 山本, 田村: 視覚特性を利用したリアルタイムグラフィック表示, 第48回情報処理学会全国大会論文集, 5 V-2 (1994).
- 6) 山本, 内山, 田村: ドロネー網を用いた3次元形状の高機能ポリゴンパッチ生成法, 情報処理学会「画像の認識・理解シンポジウム (MIRU '94)」講演論文集 I, pp. 35-42 (1994).
- 7) 立川, 岡部: レーザの帰着時間差による三次元形状の測定, 計測自動制御学会第20回パターン計測部会, pp. 1-8 (1992).
- 8) 井口, 佐藤: 三次元画像計測, 昭晃堂 (1990).
- 9) Foley, J., van Dam, A., Feiner, S. and Hughes, J.: *Computer Graphics Principles and Practice*, Addison-Wesley (1990).
- 10) 中前, 西田: 3次元コンピュータグラフィックス, 昭晃堂 (1986).

- 11) Upstill, S.: *The RenderMan Companion—A Programmer's Guide to Realistic Computer Graphics*, Addison-Wesley (1989) (Sullivan, B., 半明 (訳): 実戦 CG への誘い—RenderMan Interface から学ぶコンピュータ・グラフィックスの世界, 共立出版, 1991).

(平成6年6月3日受付)

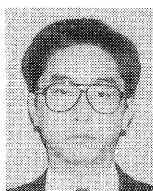
(平成6年11月17日採録)



内山 晋二

1968年生。1990年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1992年同大学大学院同学部システム工学科修士課程修了。同年キャノン(株)入社。以来、同社情報メディア研究所画像

メディア研究部にて、3次元画像計測、バーチャルリアリティの研究に従事。電子情報通信学会会員。



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年～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にて、3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。電子情報通信学会会員。



田村 秀行 (正会員)

1947年生。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副所長兼画像メディア研究

部部長。工学博士。パターン認識・画像処理・画像データベース等の研究に従事。最近、3次元画像メディア、CSCW等に興味を持っている。昭和60年度論文賞受賞。著書「コンピュータ画像処理入門」「電脳映像世界の探検」「デジタル映像」など。IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。