

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7614801号  
(P7614801)

(45)発行日 令和7年1月16日(2025.1.16)

(24)登録日 令和7年1月7日(2025.1.7)

(51)国際特許分類

F I

G 0 6 T 17/20 (2006.01)

G 0 6 T 17/20

請求項の数 12 (全21頁)

(21)出願番号	特願2020-193311(P2020-193311)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和2年11月20日(2020.11.20)		キャノン株式会社
(65)公開番号	特開2022-82020(P2022-82020A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43)公開日	令和4年6月1日(2022.6.1)	(74)代理人	110001243
審査請求日	令和5年11月10日(2023.11.10)		弁理士法人谷・阿部特許事務所
		(72)発明者	岩尾 知頼
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キャノン株式会社内
		審査官	鈴木 明

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画像処理装置、画像処理方法及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

オブジェクトの三次元形状をボクセルで表現した形状データに基づいて、ボクセル配置に応じたポリゴンを決定する決定手段と、

前記決定手段により決定されたポリゴンに関する情報から、頂点を特定のスケールのボクセル単位で算出する算出手段と、

前記算出手段にて算出された頂点を接続することに基づいて、前記オブジェクトの三次元形状をポリゴンで表現した形状データを生成する生成手段と、  
を備え、

前記算出手段は、前記特定のスケールが $r$ 倍( $r > 1$ )の場合、前記頂点を、前記生成される1つ以上の面と前記頂点となり得る点との距離の関係に基づいて算出する、

10

ことを特徴とする画像処理装置。

【請求項2】

前記特定のスケールとは、前記ボクセルで表現した形状データを構成するボクセルのスケールの整数倍であることを特徴とする請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項3】

前記特定のスケールは可変であることを特徴とする請求項2に記載の画像処理装置。

【請求項4】

前記算出手段は、入力された前記特定のスケールのボクセル内に生成される1つ以上の面に基づいて形状の複雑度を求め、前記複雑度が所定のレベルよりも高い場合に、そのス

20

ケールを小さくすることを特徴する請求項 3 に記載の画像処理装置。

【請求項 5】

前記ポリゴンに関する情報には、前記生成される 1 つ以上の面に対応する法線の情報を含み、

前記算出手段は、前記法線の内積値に基づいて、前記複雑度を求めることを特徴する請求項 4 に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記ポリゴンに関する情報には、前記生成される 1 つ以上の面の数の情報を含み、

前記算出手段は、前記面の数の情報に基づいて、前記複雑度を求める、  
ことを特徴する請求項 4 に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

オブジェクトの三次元形状をボクセルで表現した形状データに基づいて、ボクセル配置に応じたポリゴンを決定する決定手段と、

前記決定手段により決定されたポリゴンに関する情報から、頂点を特定のスケールのボクセル単位で算出する算出手段と、

前記算出手段にて算出された頂点を接続することに基づいて、前記オブジェクトの三次元形状をポリゴンで表現した形状データを生成する生成手段と、

を備え、

前記特定のスケールとは、前記ボクセルで表現した形状データを構成するボクセルのスケールの整数倍であって、前記特定のスケールは可変であり、

前記算出手段は、入力された前記特定のスケールのボクセル内に生成される 1 つ以上の面に基づいて形状の複雑度を求め、前記複雑度が所定のレベルよりも高い場合に、そのスケールを小さくし、

前記ポリゴンに関する情報には、前記生成される 1 つ以上の面の数の情報を含み、

前記算出手段は、前記面の数の情報に基づいて、前記複雑度を求める、  
ことを特徴する画像処理装置。

【請求項 8】

前記算出手段は、前記特定のスケールが 1 倍の場合、前記頂点を、前記生成される 1 つ以上の面を構成する複数の頂点の平均位置を求めることで算出する、  
ことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 9】

前記決定手段は、前記ポリゴンを、マーチングキューブス法、有限要素法、幾何形状フィッティング、関数フィッティングのいずれかの手法により決定することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記生成手段は、前記ポリゴンに関する情報を参照して、前記算出手段にて算出された前記頂点を接続することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 11】

オブジェクトの三次元形状をボクセルで表現した形状データに基づいて、ボクセル配置に応じたポリゴンを決定する決定ステップと、

前記決定ステップにて決定されたポリゴンに関する情報から、頂点を特定のスケールのボクセル単位で算出する算出ステップと、

前記算出ステップにて算出された頂点を接続することに基づいて、前記オブジェクトの三次元形状をポリゴンで表現した形状データを生成する生成ステップと、

を含み、

前記算出ステップでは、前記特定のスケールが  $r$  倍 ( $r > 1$ ) の場合、前記頂点を、前記生成される 1 つ以上の面と前記頂点となり得る点との距離の関係に基づいて算出する、

ことを特徴とする画像処理方法。

【請求項 12】

コンピュータを、請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、オブジェクトの三次元形状をポリゴンで表現したデータを生成する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

VR、AR、ストリートビューイングなどの用途において、人物等の三次元形状を表す高品質なコンピュータグラフィックス（以下、「CG」と表記）によるポリゴンモデルを生成する必要がある。一般に、ポリゴンモデルはクリエイタの手作業によって作成されるところ、ポリゴン数が多く且つ美麗な外観を持つポリゴンモデルの作成は非常に難しく、多大な時間が掛かる。クリエイタの手間を削減する手法として、現実世界の物体を撮像した画像からポリゴンモデルを生成するフォトグラメトリと呼ばれる技術がある。フォトグラメトリの代表的な手法の1つである視体積交差法では、オブジェクトを複数の視点で撮像した画像からそのシルエットを抽出し、抽出したシルエットの情報を基に、当該オブジェクトの三次元形状をボクセルで表現したデータを生成する。そして、三次元空間中のボクセルの配置に従ってボクセル表面を覆うようなポリゴンで表現されたポリゴンモデルを生成する。

【0003】

フォトグラメトリによって得られたポリゴンモデルのポリゴン数を適宜削減することで、利用用途に応じて簡略化した（ポリゴンメッシュを粗くした）ポリゴンモデルを得ることが行われている。非特許文献1は、ポリゴンモデル中のエッジで接続される2頂点を1頂点に集約することでポリゴン数を削減する手法（以下、「QEM法」と表記）を開示する。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【文献】Michael Garland, Paul S. Heckbert, "Surface Simplification Using Quadric Error Metrics", 1997.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、QEM法の場合には、高密度なポリゴンモデルを入力した後、形状の誤差が少なくなるような2頂点のペアを算出し、それらを適切な1頂点に集約するために多大な時間が掛かるという課題があった。

【0006】

そこで本開示の技術では、ポリゴンで表現した形状データの生成負荷を軽減する技術を提案することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示に係る画像処理装置は、オブジェクトの三次元形状をボクセルで表現した形状データに基づいて、ボクセル配置に応じたポリゴンを決定する決定手段と、前記決定手段により決定されたポリゴンに関する情報から、頂点を特定のスケールのボクセル単位で算出する算出手段と、前記算出手段にて算出された頂点を接続することに基づいて、前記オブジェクトの三次元形状をポリゴンで表現した形状データを生成する生成手段と、を備え、前記算出手段は、前記特定のスケールが $r$ 倍（ $r > 1$ ）の場合、前記頂点を、前記生成される1つ以上の面と前記頂点となり得る点との距離の関係に基づいて算出する、ことを特

徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本開示の技術によれば、ポリゴンで表現した形状データの生成負荷を軽減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】仮想視点映像システムの構成の一例を示す図

【図2】本開示に係るポリゴンモデル生成技術の概要を説明する図

【図3】マクロスケールのボクセルを説明する図

【図4】画像処理装置の機能構成を示すブロック図

【図5】実施形態1に係る、ポリゴンモデル生成をする処理の流れを示すフローチャート

【図6】MC法を説明する図

【図7】MCテーブルの一例を示す図

【図8】MCボクセルとエッジインデックスとの関係を説明する図

【図9】MCボクセルと隣接MCボクセルとの接続関係を説明する図

【図10】MC法における面の生成パターンを示す図

【図11】複数のMCボクセルを整列配置した3次元空間を示す図

【図12】(a)は代表頂点の算出処理の結果の一例を示す図、(b)はトポロジ決定処理の結果の一例を示す図

【図13】実施形態2に係る、ポリゴンモデル生成をする処理の流れを示すフローチャート

【図14】実施形態2によって得られるポリゴンモデルを説明する図

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。なお、以下の実施形態は本発明を限定するものではなく、また、本実施形態で説明されている特徴の組み合わせの全てが本発明の解決手段に必須のものとは限らない。なお、同一の構成については、同じ符号を付して説明する。

【0011】

[実施形態1]

本実施形態では、仮想視点映像の生成に必要なオブジェクトの三次元形状データとして、簡略化されたポリゴンモデルを生成する場面を適用例として説明を行うものとする。仮想視点映像は、オブジェクトの三次元形状データであるポリゴンモデルを用いてレンダリングすることで得られる。

【0012】

<システム構成>

図1は、本実施形態における、仮想視点映像システムの構成の一例を示す図である。なお、仮想視点映像とは、エンドユーザ及び/又は選任のオペレータ等が自由に仮想視点(現実には存在しない仮想カメラ)の位置及び姿勢を操作することによって生成される映像であり、自由視点映像や任意視点映像などとも呼ばれる。仮想視点画像によれば、サッカーやラグビーといったスポーツのハイライトシーンを様々な角度から視聴閲覧することができるので、通常の画像と比較してユーザに高臨場感を与えることができる。図1に示す仮想視点映像システムは、画像処理装置100、カメラ群110、仮想視点映像生成装置120を有する。

【0013】

画像処理装置100は、カメラ群110から映像データを受信する。この映像データは、複数の異なる視点で撮影された映像データである。そして、受信した複数の視点に対応した映像データから、オブジェクトの三次元形状をポリゴンで表現した形状データであるポリゴンモデルを生成する。生成されたポリゴンモデルは、仮想視点映像生成装置120に送られる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 4 】

カメラ群 1 1 0 は、撮像装置としての複数のデジタルビデオカメラ（以下、単に「カメラ」と表記）で構成される。各カメラは、シリアルデジタルインタフェース（S D I）に代表される映像信号インタフェースを備えており、映像信号インタフェースを介して、各カメラで撮影した映像データを画像処理装置 1 0 0 に出力する。

## 【 0 0 1 5 】

仮想視点映像生成装置 1 2 0 は、画像処理装置 1 0 0 から受け取ったポリゴンモデルを用いてレンダリング処理を行って、ユーザが指定した仮想視点からの見えを表す仮想視点映像を生成する。レンダリング処理では、別途入力された仮想視点情報に従って、ポリゴンモデルが表す三次元形状の表面にテクスチャを貼り付ける処理（表面の色を決める処理）を行うことで、仮想視点映像を生成する。生成された仮想視点映像データは、液晶ディスプレイ等に代表される不図示の表示装置に出力・表示され、ユーザの視聴に供される。

10

## 【 0 0 1 6 】

なお、仮想視点情報には、少なくとも仮想視点の位置及び方向に関する情報が含まれる。また、仮想視点の指定には、少なくとも仮想視点の位置及び方向に関する指定が含まれる。また、仮想視点の指定は、ユーザによる指定でなくてもよい。例えば、装置が、自動で指定するような構成であってもよい。システム構成については、上記以外にも、様々な構成要素が存在するが、本発明の主眼ではないので、その説明は省略する。

## 【 0 0 1 7 】

< 画像処理装置のハードウェア構成 >

20

次に、画像処理装置 1 0 0 のハードウェア構成を、図 1 を参照しつつ説明する。画像処理装置 1 0 0 は、C P U 1 0 1、メインメモリ 1 0 2、H D D 1 0 3、入力部 1 0 4、表示部 1 0 5、外部 I / F 1 0 6 を備え、各部がバス 1 0 7 を介して接続されている。まず、C P U 1 0 1 は、画像処理装置 1 0 0 を統括的に制御する演算処理装置であり、H D D 1 0 3 等に格納された各種プログラムを実行して、カメラ群 1 1 0 を制御して複数視点映像データを取得したり、後述するポリゴンモデル生成処理を含む様々な画像処理を行う。メインメモリ 1 0 2 は、各種処理で用いるデータやパラメータなどを一時的に格納するほか、C P U 1 0 1 に作業領域を提供する。H D D 1 0 3 は、各種プログラムや入力された映像データなどを記憶する不揮発性の大容量記憶装置であり、例えば S S D 等でもよい。入力部 1 0 4 は、キーボードやマウス、電子ペン、タッチパネル等の装置であり、様々なユーザ指示を受け付ける。表示部 1 0 5 は、液晶パネルなどで構成され、U I（ユーザインタフェース）画面の表示などを行う。外部 I / F 部 1 0 6 は、カメラ群 1 1 0 を構成する各カメラ及び仮想視点映像装置 1 2 0 とネットワーク（ここでは L A N 1 0 8）を介して、各カメラで撮像した映像データやポリゴンモデルといった各種データの送受信を行う通信インタフェースである。バス 1 0 7 は上述の各部を接続し、データ転送を行う。なお、仮想視点映像装置 1 2 0 も、画像処理装置 1 0 0 と同様の構成を備え、C P U やメインメモリを用いて上述のレンダリング処理などを行う。

30

## 【 0 0 1 8 】

< 本開示の技術の概要 >

図 2 は、本開示に係る、ポリゴンモデル生成処理の概要を説明する図である。ここでは、四角錐と立方体とを組み合わせたシンプルな形状のオブジェクト 2 0 0 を、複数のカメラ 2 0 1 を用いて様々な視点から撮像し、得られた複数視点画像に基づいて、その三次元形状を復元する場合を例に説明を行うものとする。

40

## 【 0 0 1 9 】

S T E P . 1

オブジェクト 2 0 0 を取り囲むように複数のカメラ 2 0 1 を配置して撮像を行い、複数の視点に対応する撮像画像を取得する。この際、カメラ群 1 1 0 を構成する個々のカメラ 2 0 1 は、オブジェクト 2 0 0 がその画角内に適切に収まるように、向き及び姿勢、焦点距離、露出制御パラメータ等が設定される。

## 【 0 0 2 0 】

50

## STEP . 2

複数の視点に対応する撮像画像それぞれにおけるオブジェクト200のシルエット情報から、視体積交差法などを用いて、オブジェクト200の三次元形状をボクセルで表現した形状データ（以下、「ボクセルデータ」と表記）を生成する。図2において、黒の矩形は視体積の内側に位置していた残ったボクセル（ONボクセル）を示し、白抜きの矩形は視体積の外側に位置していた削除されたボクセル（OFFボクセル）を示している。

【0021】

## STEP . 3

STEP . 2で得られたボクセルデータに対して、ボクセル配置に応じた面（ポリゴン）を決定する。図2において、白点線が決定された面を示している。

10

【0022】

## STEP . 4

上記面に関する情報を参照して、簡略化後のポリゴンモデルにおける尤もらしい頂点を、入力ボクセルよりも大きな特定のスケールのボクセル単位で算出する。なお、以下の説明において、上記特定のスケールを「マクロスケール」と呼び、マクロスケールのボクセルを「マクロボクセル」と呼ぶこととする。図3は、マクロボクセルを説明する図である。最も小さい矩形300が入力ボクセルを示し、最も大きい矩形301がスケール8倍のマクロボクセル、矩形302がスケール4倍のマクロボクセル、矩形303がスケール2倍のマクロボクセルをそれぞれ示している。なお、マクロボクセルは、そのスケールが入力ボクセルと同じ（すなわち、スケール1倍）であってもよい。図2において、一点鎖線の矩形がマクロボクセルを示し、二重丸がマクロボクセル単位で算出された尤もらしい頂点を示している。

20

【0023】

## STEP . 5

STEP . 4で算出された尤もらしい頂点に対してトポロジを決定して頂点同士を接続し、形状を簡略化したポリゴンモデルを生成する。図2において、白い実線が決定したトポロジ（面）を示している。

【0024】

以上が、本開示に係るポリゴンモデル生成処理の概要である。なお、本開示の技術を適用可能なオブジェクトは、図2に示すようなシンプルな形状のオブジェクトに限定されるものではなく、一般的な生物、建築物、乗り物といったより複雑な形状を持つオブジェクトの三次元形状の復元にも適用できることはいうまでもない。

30

【0025】

< 画像処理装置のソフトウェア構成 >

図4は、本実施形態に係る、画像処理装置100の機能構成を示すブロック図である。画像処理装置100は、撮像画像取得部401、カメラ校正部402、シルエット画像生成部403、ボクセルデータ生成部404、面決定部405、代表頂点算出部406、代表頂点接続部407を有する。

【0026】

撮像画像取得部401は、カメラ群110を構成する複数のカメラ201によって異なる視点から撮像された画像（複数視点画像）のデータを取得する。取得した複数視点画像のデータは、カメラ校正部402及びシルエット画像生成部403に入力される。

40

【0027】

カメラ校正部402は、例えば試合の開始前などのタイミングでカメラキャリブレーションを行い、カメラ群110を構成する各カメラ201のカメラパラメータを導出する。カメラパラメータには、内部パラメータ、外部パラメータ、歪曲パラメータが含まれる。カメラキャリブレーションの大まかな手順は以下のとおりである。まず、スクエアグリッド等の平面パターンを各カメラ201で撮像する。次に、得られた各カメラ201の撮像画像それぞれから特徴点を検出し、画像座標系において当該特徴点の座標を求める。ここで、特徴点とは、スクエアグリッドの場合であれば直交する直線同士の交点のことである

50

。そして、求めた特徴点の座標を用いて、内部パラメータの初期値を算出する。ここで、内部パラメータとは、焦点距離や、主点と呼ばれる光学的中心を表すパラメータである。また、内部パラメータの初期値は必ずしも、画像中の特徴点から算出する必要はなく、カメラの設計値を用いてもよい。次に、バンドル調整と呼ばれる非線形最適化処理によって、内部パラメータ、外部パラメータ、歪曲パラメータを算出する。ここで、外部パラメータとは、カメラの位置、視線方向、視線方向を軸とする回転角を表すパラメータのことである。また、歪曲パラメータとは、レンズの屈折率の違いによって生じる半径方向の画像の歪みや、レンズとイメージプレーンが平行にならないことによって生じる円周方向の歪みを表す係数のことである。カメラキャリブレーションの手法は他にも多く存在するが、本発明の主眼でないため詳細は省略する。カメラキャリブレーションによって求めた各カメラ 201 のカメラパラメータは HDD 103 に保存しておく。

10

#### 【0028】

シルエット画像生成部 403 は、複数視点画像を構成する各撮像画像からオブジェクトのシルエットに対応する領域（前景領域）を抽出し、前景領域を「1」それ以外の背景領域を「0」で表した 2 値の画像（シルエット画像）を生成する。前景領域を抽出する手法には様々あり特に限定されない。例えば背景差分法の場合は、オブジェクトが存在する場合と存在しない場合の画像をそれぞれ撮像し、双方の撮像画像の差分に相当する領域を、オブジェクトのシルエットとして抽出する。

#### 【0029】

ボクセルデータ生成部 404 は、シルエット画像生成部 403 が生成したシルエット画像と、カメラ校正部 402 が導出したカメラパラメータとに基づいて、オブジェクトの三次元形状をボクセルの集合で表現したボクセルデータを生成する。シルエット画像からオブジェクトの三次元形状を導出する手法にも様々あり特に限定されないが、本実施形態ではビジュアル・ハル(VH)法を用いる。VH法は、カメラパラメータに基づき、シルエット画像におけるシルエットの領域（前景領域）を空間中に投影し、投影領域の積集合をオブジェクトの形状として定義する方式である。具体的にはまず、あるスケールのボクセルを敷き詰めた三次元空間を定義する。次に三次元空間中の全ボクセルに対して、ボクセルを三次元座標から各カメラの二次元画像上に射影する。この時、射影されたボクセルが各カメラのオブジェクトのシルエットと重なっているかを判定し、重なっていると判定されたカメラの台数が事前に設定された閾値以上であれば、そのボクセルがオブジェクトの形状の一部であると定義する。例えば、全ボクセルに「0」のフラグを初期値として与えておいて、オブジェクトの形状の一部であると判定されたボクセルには「1」のフラグを与える。「1」のフラグを与えられたボクセルの集合が、オブジェクトの三次元形状を表すボクセルデータとなる。本実施形態ではVH法を用いてボクセルデータを生成する例について述べるが、オブジェクトの三次元形状を得る方法は必ずしもVH法でなくてもよい。例えば、ステレオマッチング法によってオブジェクトの形状を点群として取得し、次に、あるスケールのボクセル格子で区切られた三次元空間について、取得した点群が存在する領域に「1」のフラグを与えることでも、ボクセルデータを取得可能である。また、レーザ測定器を使い、射出したレーザが戻ってくるまでの時間とレーザの速度の関係からオブジェクトまでの距離を求めることで、その形状を点群として取得することも可能である。その後は上記と同様の方法で点群をボクセルに変換すれば、ボクセルデータが得られることになる。ボクセル形状の推定の方法については他にも多くの方法が存在するが、本発明の主眼ではないため省略する。

20

30

40

#### 【0030】

面決定部 405 は、ボクセルデータ生成部 404 が生成したボクセルデータに対し、そのボクセル配置に応じて面を決定する。ボクセルデータから面を決定する手法にも様々あるが、本実施形態では、マーチングキューブス法（以下、「MC法」と表記）を用いる。また、面決定部 405 は、決定した面に関する情報を、面情報として保存する。この面情報は、代表頂点算出部 406 及び代表頂点接続部 408 の処理にて参照される。

#### 【0031】

50

代表頂点算出部 4 0 6 は、上述の面情報を用いて、簡略化後のポリゴンモデルにおける尤もらしい頂点（代表頂点）を算出する。算出した代表頂点の情報は、代表頂点接続部 4 0 7 に入力される。

【 0 0 3 2 】

代表頂点接続部 4 0 7 は、代表頂点算出部 4 0 6 が算出した代表頂点を、面情報を参照して接続し、より少ないポリゴン数で構成された（すなわち、形状を簡略化した）ポリゴンモデルを生成する。

【 0 0 3 3 】

< ポリゴンモデルの生成フロー >

次に、画像処理装置 1 0 0 において、形状を簡略化したポリゴンモデルを生成するまでの一連の処理の流れについて、図 5 に示すフローチャートを参照して詳しく説明する。この一連の処理は、C P U 1 0 1 が、所定のプログラムを H D D 1 0 3 から読み込んでメインメモリ 1 0 2 に展開し、これを C P U 1 0 1 が実行することで実現される。なお、以下の説明において記号「 S 」はステップを意味する。

【 0 0 3 4 】

まず、S 5 0 1 では、撮像画像取得部 4 0 1 が、カメラ群 1 1 0 にて撮像された画像（複数視点画像）のデータを L A N 1 0 8、外部 I / F 部 1 0 6、バス 1 0 7 を介して取得する。取得した複数視点画像のデータは、メインメモリ 1 0 2 に保存される。そして、S 5 0 2 では、上記複数視点画像を撮像したカメラ群 1 1 0 を構成する各カメラ 2 0 1 のカメラパラメータが H D D 1 0 3 から読み出される。なお、カメラ校正部 4 0 2 が上述のキャリブレーションをこのタイミングで行ってカメラパラメータを取得してもよい。

【 0 0 3 5 】

続いて、S 5 0 3 では、シルエット画像生成部 4 0 3 が、S 5 0 1 で取得した複数視点画像に基づきシルエット画像を生成する。そして、S 5 0 4 では、ボクセルデータ生成部 4 0 4 が、S 5 0 3 で生成されたシルエット画像と S 5 0 2 で取得したカメラパラメータとを用いて、「 1 」又は「 0 」のフラグを付したボクセルの集合によりオブジェクトの三次元形状を表現したボクセルデータを生成する。生成されたボクセルデータは、面決定部 4 0 5 に入力される。

【 0 0 3 6 】

次の S 5 0 5 では、面決定部 4 0 5 が、S 5 0 4 で生成されたボクセルデータに対して、ボクセルの配置に応じた面を決定する。面を決定する代表的な方法として、マーチングキューブス（M C）法がある。ここで、図 6 を参照して M C 法について説明する。M C 法では、図 6 に示すような、隣接した 8 つのボクセルからなる立方体を 1 つの単位として考える。例えば図 6 のように、隣接した各ボクセル中心に、S 5 0 4 で付された「 0 」又は「 1 」の値で定義される点を考え、これらを結んで得られる立方体を 1 つの単位とする。この場合、単位立方体の 8 つの頂点に対して、それぞれ「 0 」又は「 1 」の値が割り振られるため、頂点の値の組み合わせは 2 5 6 通り存在することになる。そして、これら組合せが、単位立方体中の様々な面を表現する指標（インデックス）となる。以下、M C 法における単位立方体を「M C ボクセル」と呼び、上記 2 5 6 通りの組合せに対応する面の決め方のことを「M C インデックス」と呼ぶこととする。M C 法では、隣接した 8 つのボクセルの頂点に付された「 0 」又は「 1 」の値の組み合わせで M C インデックスを導出するため、入力ボクセルデータに対する M C ボクセルの数は x 軸、y 軸、z 軸それぞれで 1 つずつ少なくなる。入力ボクセルデータは、x 軸、y 軸、z 軸の端点で「 1 」の値を持つ場合があり、この場合に端点処理が失敗し、形状が破綻する可能性がある。このような形状の破綻を防ぐため、通常は、x y z の各軸に対して、「 0 」の値を持つボクセルを x p 個、y p 子、z p 個追加するようなパディング処理を行った後に、M C 法を適用する。また、このようなボクセルが敷き詰められた 3 次元空間を囲う、矩形の境界のことをバウンディングボックスという。

【 0 0 3 7 】

通常の M C 法では、三角形の面を構成する頂点位置を、M C ボクセルのエッジインデッ

10

20

30

40

50



クス（EI）を用いて管理する。ここでエッジインデックスとは、MCボクセルの頂点間に割り当てられる1～12までのインデックス番号と、それに対応する座標のことである。本実施形態では、このエッジインデックスと、生成される面に対応する法線情報をMCインデックスと関連付けて上述の面情報として、図7に示すようなテーブル形式にて保存しておく。なお、生成される面数や、面を構成する頂点位置の情報を面情報として保存してもよい。以下、図7のようなテーブルを「MCテーブル」と呼ぶこととする。また、MCテーブルには、隣接するMCボクセルとの接続関係を示す情報も、面情報として格納される。MCテーブルの詳細については後述する。このような面情報を含んだMCテーブルはHDD103にて保持される。

【0038】

S506では、代表頂点算出部406が、上述のMCテーブルを参照して、代表頂点の位置を、指定されたマクロスケールのボクセル単位で算出する。マクロスケールは可変であり、マクロスケールを変えることによって簡略化度合いを調整することができる。本実施形態では、入力MCボクセルのスケール $S_{vi}$ に対してその整数倍のスケール $S_{vm}$ を持つMCボクセルの単位で尤もらしい頂点（代表頂点）が算出される。以下、入力MCボクセルの整数倍のスケールを持つMCボクセルを「マクロMCボクセル」と呼ぶこととする。なお、実際に適用するマクロスケールは、対象オブジェクトの種類や形状等を考慮して予め決めておいてもよいし、ユーザが所望のスケールをUI等を介して都度指定してもよい。代表頂点算出部406は、このような代表頂点の算出を全てのマクロMCボクセルに対して行う。なお、この算出処理においては、マクロMCボクセルを1つずつ順に処理してもよいし、複数のマクロMCボクセル単位で並列に処理してもよい。代表頂点算出処理の詳細については後述する。算出結果は代表頂点接続部407に出力される。

【0039】

S507では、代表頂点接続部407が、S506で算出された代表頂点に対してトポロジを決定して、代表頂点同士を接続し、形状が簡略化されたポリゴンモデルを生成する。代表頂点接続部407は、トポロジの決定を全てのマクロMCボクセルに対して行う。トポロジ決定処理の詳細については後述する。

【0040】

以上が、本実施形態に係る、ポリゴンモデルの生成フローの内容である。

【0041】

< MCテーブルの詳細 >

続いて、MCテーブルについて詳しく説明する。図8はMCボクセルとエッジインデックスとの関係を説明する図、図9はMCボクセルと隣接MCボクセルとの接続関係を説明する図である。いま、番号1のMCインデックスに関し、頂点1のみが「1」の値を持ち、頂点1以外が「0」の値を持つと定義する。この場合、図8に示すように、エッジインデックスEI<sub>1</sub>、EI<sub>2</sub>、EI<sub>3</sub>に対して面が貼られることになる。このようなMCインデックスとエッジインデックスとの対応関係が、MCテーブルには格納される。そして、エッジインデックスによって特定される面に対応する法線情報もMCテーブルには格納される。

【0042】

法線情報に関しては以下のようにして得ることができる。そもそも、三次元の法線の切片は、面に応じて変化するが、その傾きはMCインデックスに対して固有である。一般に、3次元空間上の平面の方程式が以下の式（1）のように与えられた場合、正規化された法線ベクトル $n$ は以下の式（2）のように表される。

【0043】

【数1】

$$ax + by + cz + d = 0 \quad \cdots \text{式 (1)}$$

【0044】

【数2】

$$\mathbf{n} = \left( \pm \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}, \pm \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}, \pm \frac{c}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \right) \quad \dots \text{式 (2)}$$

【 0 0 4 5 】

したがって、例えば番号 1 の M C インデックスに対する法線ベクトル (  $n_x, n_y, n_z$  ) は、面の表裏も考慮すると、以下の式 ( 3 ) のようになる。

【 0 0 4 6 】

【 数 3 】

$$\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z) = \left( \frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \quad \dots \text{式 (3)}$$

10

【 0 0 4 7 】

このようにして求めた法線ベクトル (  $n_x, n_y, n_z$  ) も、M C インデックスと対応付けて、M C テーブルに格納される。なお、格納しておく法線ベクトル (  $n_x, n_y, n_z$  ) は必ずしも正規化されている必要はない。

【 0 0 4 8 】

次に、隣接ボクセルとの接続関係を考える。例えば、番号 1 の M C インデックスの場合、その対象 M C ボクセルには 3 つのエッジ  $E_{12}$  (  $E_{I1}$  と  $E_{I2}$  とを結ぶエッジ )、 $E_{25}$  (  $E_{I2}$  と  $E_{I5}$  とを結ぶエッジ )、 $E_{51}$  (  $E_{I5}$  と  $E_{I1}$  とを結ぶエッジ ) が形成される。したがって、当該対象 M C ボクセルは図 9 に示すように、その上下左右に存在する 6 つの隣接 M C ボクセル ( M V 1 ~ M V 6 ) のうち、3 つの隣接 M C ボクセル M V 1、M V 2、M V 3 と接続される。これらの接続関係が、M C インデックスと対応付けて M C テーブルに格納される。なお、接続関係は必ずしも M C ボクセル単位で保存する必要はなく、M C ボクセルに対して半ボクセル分ずれた位置に存在する入力ボクセル単位で保存してもよい。例えば、番号 1 の M C インデックスの場合であれば、頂点 1 を中心とするボクセルは、頂点 2、頂点 4、頂点 5 をそれぞれ中心とする 3 つの入力ボクセル ( 図 8 及び図 6 を参照 ) と接続されるので、これらボクセルの情報を格納すればよい。

20

【 0 0 4 9 】

なお、前述のとおり、M C 法における単位立方体の 8 個の頂点の「 0 」と「 1 」の組合せを考えると、面の生成パターンは 2 5 6 通り存在することになる。しかしながら、回転や反転によって同じ生成パターンになるものが多く存在し、図 1 0 に示す 1 5 通りの生成パターンに集約される。なお、図 1 0 において、単位立方体の 8 つの頂点のうち黒丸は「 1 」が付された頂点を示し、白丸は「 0 」が付された頂点を示している。

30

【 0 0 5 0 】

< 代表頂点算出処理の詳細 >

続いて、前述の S 5 0 6 における代表頂点の算出処理について、場合を分けて詳しく説明する。

【 0 0 5 1 】

マクロスケールが 1 倍の場合

前述のとおりマクロスケールが 1 倍とは、入力 M C ボクセルのスケール  $S_{vi}$  とマクロ M C ボクセルのスケール  $S_{vm}$  とが同じということである。この場合の代表頂点の算出方法は複数存在する。まず一つ目として、入力 M C ボクセルで生成される面の頂点の平均位置を算出する方法について説明する。図 1 1 は、複数の M C ボクセルが整列して配置された 3 次元空間を示している。いま、処理対象とする入力 M C ボクセルの開始位置を M V ( 0 , 0 , 0 ) とし、 $k$ 、 $l$ 、 $m$  を開始位置から各軸方向のボクセル個数を表すボクセル座標とする。M V (  $k, l, m$  ) の M C インデックスが番号 1 だった場合、面の平均頂点位置  $C$  は、エッジインデックス  $E_{I1}$ 、 $E_{I2}$ 、 $E_{I5}$  の位置を用いて以下 ( 4 ) の式で求めることができる。

40

【 0 0 5 2 】

【 数 4 】

50

$$C = \left( \frac{EI_{x,1,k} + EI_{x,2,k} + EI_{x,5,k}}{3}, \frac{EI_{y,1,l} + EI_{y,2,l} + EI_{y,5,l}}{3}, \frac{EI_{z,1,m} + EI_{z,2,m} + EI_{z,5,m}}{3} \right) \dots \text{式 (4)}$$

【 0 0 5 3 】

上記式 ( 4 ) において、 $E I_{x,i,k}$ 、 $E I_{y,i,l}$ 、 $E I_{z,i,m}$ 、はそれぞれ以下の式 ( 5 ) ~ 式 ( 7 ) の示すとおりである。

【 0 0 5 4 】

【数 5 】

$$EI_{x,i,k} = EI_{x,i,1} + S_{vi}(k-1) \dots \text{式 (5)}$$

10

【 0 0 5 5 】

【数 6 】

$$EI_{y,i,l} = EI_{y,i,1} + S_{vi}(l-1) \dots \text{式 (6)}$$

【 0 0 5 6 】

【数 7 】

$$EI_{z,i,m} = EI_{z,i,1} + S_{vi}(m-1) \dots \text{式 (7)}$$

【 0 0 5 7 】

20

また、生成される面が 2 面以上 ( 図 1 0 におけるパターン 1 とパターン 2 を除くすべての生成パターン ) の場合、代表頂点位置を算出する手法として、非特許文献 1 の Q u a d r i c E r r o r M e t r i c s ( 以下、「Q E M」と表記。 ) がある。Q E Mを用いることで、複数の頂点を一つの頂点に集約した時の、誤差を近似することができる。ここで、3 次元空間における平面の方程式を上記式 ( 1 ) とし、二つの平面の Q E Mを Q 1、Q 2 とする。このとき、二つの面に含まれる頂点を頂点 v に集約した時の誤差  $\Delta v$  は、以下の式 ( 8 ) の条件下で、以下の式 ( 9 ) のように表される。

【 0 0 5 8 】

【数 8 】

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1 \dots \text{式 (8)}$$

30

【 0 0 5 9 】

【数 9 】

$$\Delta v = \mathbf{v}^T \bar{\mathbf{Q}} \mathbf{v} \dots \text{式 (9)}$$

【 0 0 6 0 】

なお、上記式 ( 9 ) において、

【 0 0 6 1 】

【数 1 0 】

$$\bar{\mathbf{Q}} = \mathbf{Q}_1 + \mathbf{Q}_2$$

40

【 0 0 6 2 】

であり、Q 1 及び Q 2 はそれぞれ以下のように定義される。

【 0 0 6 3 】

【数 1 1 】

$$\mathbf{Q}_i = \begin{pmatrix} a_i^2 & a_i b_i & a_i c_i & a_i d_i \\ a_i b_i & b_i^2 & b_i c_i & b_i d_i \\ a_i c_i & b_i c_i & c_i^2 & c_i d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

50

【 0 0 6 4 】

また、複数の面  $n$  枚に含まれる頂点から、ある頂点  $v'$  までの誤差  $v'$  の総和は、以下の式 ( 1 0 ) で導かれる。

【 0 0 6 5 】

【数 1 2 】

$$\Delta v' = v'^T \bar{Q} v' \quad \dots \text{式 (10)}$$

【 0 0 6 6 】

なお、上記式 ( 1 0 ) において、

【 0 0 6 7 】

【数 1 3 】

$$\bar{Q} = \sum_i^n Q_i$$

10

【 0 0 6 8 】

である。そして、この誤差  $v'$  が最小になるような頂点が尤もらしい頂点、すなわち、代表頂点となる。このことから、以下の式 ( 1 1 ) に示す条件の下、以下の式 ( 1 2 ) が成り立つ。

【 0 0 6 9 】

【数 1 4 】

$$\frac{\partial \Delta}{\partial x} = \frac{\partial \Delta}{\partial y} = \frac{\partial \Delta}{\partial z} = 0 \quad \dots \text{式 (11)}$$

20

【 0 0 7 0 】

【数 1 5 】

$$\left\{ \sum_{i=1}^n \begin{pmatrix} a_i^2 & a_i b_i & a_i c_i & a_i d_i \\ a_i b_i & b_i^2 & b_i c_i & b_i d_i \\ a_i c_i & b_i c_i & c_i^2 & c_i d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right\} v' = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \dots \text{式 (12)}$$

30

【 0 0 7 1 】

そして、上記式 ( 1 2 ) について、 $v'$  に掛かる行列に逆行列が存在するとして、以下の式 ( 1 3 ) を満たすような  $v'$  を算出する。

【 0 0 7 2 】

【数 1 6 】

$$v' = \left\{ \sum_{i=1}^n \begin{pmatrix} a_i^2 & a_i b_i & a_i c_i & a_i d_i \\ a_i b_i & b_i^2 & b_i c_i & b_i d_i \\ a_i c_i & b_i c_i & c_i^2 & c_i d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \dots \text{式 (13)}$$

40

【 0 0 7 3 】

また、逆行列が存在しない場合、各面の頂点の平均値を  $v'$  としてもよい。この場合、上記式 ( 1 3 ) 中の、平面の方程式の係数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  に関して、入力 MC ボクセルのインデックスに対応する法線の係数を MC テーブルから参照した後、上述の式 ( 8 ) の条件を満たすように変換すればよい。また、マクロ MC ボクセルのスケールと入力 MC ボクセルのスケールとが等しいことから、入力 MC ボクセルのスケール  $S_{vi}$  と位置  $(k, l, m)$  から、面が通るエッジインデックス  $E_i$  の位置が容易に算出できる。したがって、 $a$ 、 $b$ 、 $c$  及び、 $E_i$  の座標を前述の式 ( 1 ) に代入して、定数項  $d$  を算出すればよい。もちろん、

50

面の平行移動の性質を用いて、MC ボクセルの位置から直接  $d$  を算出してもよい。

【0074】

また、複数の面が生成される場合、算出する代表頂点は必ずしも1つでなくてもよい。図12(a)は、図10における生成パターン6で生成される3つの面それぞれに対して代表頂点を算出した場合を示している。各面に対して、隣接MC ボクセルとの接続関係は保存されており、尚且つ各入力MC ボクセル内での面の接続関係はMC インデックスから既知である。そのため、面毎に平均頂点を求め、それらを代表頂点として算出してもよい。この手法は、部分的に複雑な形状を表現したい場合に有用である。スケール1倍のMC ボクセルを1頂点に集約すると集約し過ぎになってしまう場合にこの手法を使うことで、部分的に細かい形状を表現しつつ、他のMC ボクセルとの接続を維持することが可能になる。

10

【0075】

マクロスケールが2倍以上の場合

次に、入力MC ボクセルに対するマクロMC ボクセルのスケールが  $r$  倍だった場合を考える。ここで、 $r$  は1よりも大きい正の整数 ( $r \geq 2$ ) を示す。

【0076】

マクロMC ボクセルのスケールが決まると、まず、当該マクロMC ボクセルにどの入力MC ボクセルが含まれるかが特定される。このとき、特定された入力MC ボクセルに対応するMC インデックスも決まる。そして、前述の図7に示すようなMC テーブルを参照することで、これらMC インデックスに対応する法線の係数が決まり、また生成される平面の方程式が入力MC ボクセルの位置から決まる。こうして決定した全ての面から、ある頂点までの誤差の総和  $\mathbf{v}'$  は、以下の式(14)で表される。

20

【0077】

【数17】

$$\mathbf{v}' = \left\{ \sum_{IMV_i \in MMV} \begin{pmatrix} a_i^2 & a_i b_i & a_i c_i & a_i d_i \\ a_i b_i & b_i^2 & b_i c_i & b_i d_i \\ a_i c_i & b_i c_i & c_i^2 & c_i d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \dots \text{式 (14)}$$

30

【0078】

上記式(14)において、IMVは入力ボクセルを表し、MMVはマクロMC ボクセルを表す。

【0079】

なお、マクロMC ボクセルのスケールが入力MC ボクセルより大きい場合においても、複数の面が生成される場合には、マクロMC ボクセルに対して生成する代表頂点は必ずしも一つでなくてもよい。

【0080】

(トポロジ決定処理の詳細)

続いて、前述のS507におけるトポロジの決定処理について、代表頂点算出処理と同様に場合を分けて詳しく説明する。

40

【0081】

マクロスケールが1倍の場合

S505で生成されるMC テーブルには、接続関係にある隣接MC ボクセルを特定可能な情報が格納されている。そして、MC 法は穴が開かないポリゴンメッシュ(面の集合)を作るため、隣接MC ボクセルは必ず面を形成する。そのため、各面について必ず代表頂点が算出されており、これを接続対象とする。具体的には、まず、入力MC ボクセルに対応するMC インデックスを、MC テーブルを参照して取得する。次に、取得したMC インデックスについて、隣接MC ボクセルとの接続関係を用いてトポロジを決定する。入力MC ボクセルの代表頂点と、当該入力MC ボクセルと接続関係にある隣接MC ボクセルの

50

代表頂点とを結ぶことで、トポロジ（つまり、新たなエッジ）を決定できる。図 1 2（b）にその具体例を示す。図 1 2（b）において、上述の生成パターン 6 に従う面を有する M C ボクセル 1 について、生成パターン 9 に従う面を有する M C ボクセル 2 が接続関係にあり、何かしらの連続する面を生成することが M C テーブル内の隣接 M C ボクセルの情報から分かっている。このような M C ボクセル 1 及び 2 それぞれから算出された代表頂点 1 及び 2 を接続し（図中の破線を参照）、同じように接続関係にある他の隣接 M C ボクセルの代表頂点とも接続することで、簡略化されたポリゴンメッシュが生成される。なお、頂点を接続していく方向についてのルール（例えば、x、y、z のプラス方向に頂点を結んでいく等）を予め設定しておくことで、トポロジ接続の重複を防ぐことができる。

【 0 0 8 2 】

10

マクロスケールが 2 倍以上の場合

入力 M C ボクセルに対するマクロ M C ボクセルのスケールが  $r$  倍（ $r > 2$ ）だった場合も、基本的な考え方は同じである。この場合、まず、当該マクロ M C ボクセルにどの入力 M C ボクセルが含まれるかが特定される。このとき、特定された入力 M C ボクセルに対応する M C インデックスも決まる。そして、上述したように、対応する M C インデックスの、隣接 M C ボクセルとの接続関係を用いてトポロジを決定する。隣接 M C ボクセルとの接続関係は入力 M C ボクセルについて M C テーブルに保存されているため、該当する入力 M C ボクセルがどのマクロ M C ボクセルに含まれるかを求めた後に、算出された代表頂点同士を接続すればよい。

【 0 0 8 3 】

20

なお、本実施形態では、M C 法を前提として、簡略化後のポリゴンモデルにおける尤もらしい頂点を算出する場合を説明したが、本実施形態の適用範囲はこれに限定されない。例えば、有限要素法、幾何形状フィッティング、関数フィッティングなどのポリゴンモデル生成法においても適用できる。これらの方法はポリゴンメッシュ生成のための既定の関数系（例えば孤立点に対する内挿関数など）を有しており、これら既定の関数系から法線や接続関係を導出・参照することで、同様の処理が可能である。

【 0 0 8 4 】

以上のとおり本実施形態によれば、ボクセルデータに対してボクセル配置に応じた面を決定した後、当該面に関する情報を参照して代表頂点を算出してトポロジを決定する。これにより、ポリゴンモデルのポリゴン数を高速かつ高精度に削減することが可能になる。

30

【 0 0 8 5 】

[ 実施形態 2 ]

次に、マクロ M C ボクセルのスケールを形状の複雑度に応じて変更する態様について、実施形態 2 として説明する。なお、基本のシステム構成など実施形態 1 と共通する内容については説明を省略ないしは簡略化し、以下では差異点であるポリゴンモデルの生成フローを中心に説明を行うこととする。

【 0 0 8 6 】

< ポリゴンモデルの生成フロー >

図 1 3 は、本実施形態に係る、ポリゴンモデル生成フローの流れを示すフローチャートである。S 1 3 0 1 ~ S 1 3 0 5 までの各処理は、実施形態の図 5 のフローにおける S 5 0 1 ~ S 5 0 5 の各処理にそれぞれ対応し、特に異なるところはないので説明を省く。

40

【 0 0 8 7 】

S 1 3 0 6 では、代表頂点算出部 4 0 6 が、全ての入力 M C ボクセルのうち注目する入力 M C ボクセルに対するマクロ M C ボクセルのスケール初期値を設定する。このスケール初期値は、最大限に許容可能な簡略化の程度を考慮し、例えば  $r = 8$ （すなわち、入力 M C ボクセルの 8 倍のスケール）といった値を設定すればよい。

【 0 0 8 8 】

S 1 3 0 7 では、代表頂点算出部 4 0 6 が、設定されたスケールのマクロ M C ボクセル内に生成される面に関する情報に基づいて、形状の複雑度を算出する。ここでは、形状の複雑度 C P として、マクロ M C ボクセルに含まれる面 p の法線 n の内積値を使用する。こ

50

の場合、法線の内積値が大きいほど、法線は同じ方向を向いていることになり、形状の複雑度  $CP$  は低くなる。形状の複雑度  $CP$  は、以下の式 (15) によって表される。

【0089】

【数18】

$$CP = \frac{1}{\prod_{p_i \in MMV} n_j} \quad \dots \text{式 (15)}$$

【0090】

上記式 (15) において、 $MMV$  はマクロ  $MC$  ボクセルを表す。代表頂点算出部 406 は、まず、設定されたスケールのマクロ  $MC$  ボクセルに含まれる入力  $MC$  ボクセルを決定する。次に、 $S1305$  で生成された  $MC$  テーブルを参照して、当該決定した入力  $MC$  ボクセルに対応する  $MC$  インデックスを取得し、さらに、当該  $MC$  インデックスに対応する法線の係数を取得して、上記式 (15) を用いて形状の複雑度  $CP$  を算出する。

10

【0091】

$S1308$  では、代表頂点算出部 406 が、 $S1307$  にて算出した形状の複雑度  $CP$  に基づいて、形状の複雑度が所定のレベルよりも高いかどうかを判定する。このような閾値判定処理の結果、形状の複雑度が高いと判定されれば  $S1309$  に進む。

【0092】

$S1309$  では、現在設定中のスケールが入力  $MC$  ボクセルのスケールと等しいかが判定される。判定の結果、等しくない場合（すなわち、スケール 2 倍以上）であれば  $S1310$  に進む。一方、等しい場合（すなわち、スケール 1 倍）であれば、スケール更新ができない（スケールをこれ以上に小さくできない）ため、 $S1311$  に進む。この場合、注目する入力  $MC$  ボクセルに対するマクロ  $MC$  ボクセルのスケールが等倍に確定することになる。

20

【0093】

$S1310$  では、マクロ  $MC$  ボクセルのスケールを小さくするスケール更新処理を行う。本実施形態では、現在設定中のスケールの半分のスケールに変更（例えば、現スケールが 8 倍であれば 4 倍に変更）する。スケールを更新した後は  $S1307$  に戻って、新たに設定されたスケール（すなわち、元のスケールの半分のスケール）のマクロ  $MC$  ボクセルについて形状の複雑度の算出処理を改めて行う。一方、上述の閾値判定処理の結果、形状の複雑度が低いと判定されれば、注目する入力  $MC$  ボクセルについてのマクロ  $MC$  ボクセルのスケールが現在設定中のスケールに確定することになる。スケール確定後は、 $S1311$  に進む。

30

【0094】

$S1311$  では、すべての入力  $MC$  ボクセルに対してマクロ  $MC$  ボクセルの処理が完了したか否かが判定される。すべての入力  $MC$  ボクセルについて上述の処理が完了していれば  $S1312$  に進む。一方、未処理の入力  $MC$  ボクセルがあれば  $S1306$  に戻って次の注目する入力  $MC$  ボクセルを決定して、同様の処理を繰り返す。

【0095】

$S1312$  では、代表頂点算出部 406 が、確定したスケールのマクロ  $MC$  ボクセルそれぞれについて、代表頂点を算出する。そして、 $S1313$  では、代表頂点接続部 407 が、 $S1312$  にて算出された代表頂点について、トポロジを決定し、代表頂点同士を接続する処理を行う。なお、代表頂点算出処理及びトポロジ決定処理の内容は、実施形態 1 の図 5 のフローにおける  $S506$  及び  $S507$  で説明した通りであるのでここでの説明は省く。

40

【0096】

以上が、本実施形態に係る、ポリゴン生成フローの内容である。図 14 は、本実施形態の手法によって、形状の複雑度に応じてマクロ  $MC$  ボクセルのスケールを変更して得られたポリゴンモデルの一例を示している。本実施形態の場合、複雑度が低い部位については

50

疎に、高い部位については密に、面と頂点を生成できるため、より高精度なポリゴンモデルが得られることが分かる。

【 0 0 9 7 】

< 変形例 >

本実施形態では、形状の複雑度を測る指標として、生成される面の法線の内積値を用いているが、これに代えて、生成される面の数を用いてもよい。具体的には以下のとおりである。まず、1つのMCボクセルあたりに生成され得る面の最大数は5枚である。例えばスケール2倍のマクロMCボクセルであれば、その中に入る入力MCボクセルは8つなので、 $8 \times 5 = 40$ 枚が生成される最大の面数となる。そこで、この最大面数に対して実際に何枚の面が生成されているかを示す値（割合）を求め、これを形状の複雑度の指標とする。なお、この場合の閾値としては、例えば閾値  $t_h = 0.4$  といった値を設定すればよい。

10

【 0 0 9 8 】

以上のとおり本実施形態によれば、実施形態1の手法と比較して処理負荷は増すものの、より高精度のポリゴンモデルを得ることができる。

【 0 0 9 9 】

（その他の実施例）

本開示の技術は、上述の実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC）によっても実現可能である。

20

【 符号の説明 】

【 0 1 0 0 】

1 0 0 画像処理装置

4 0 5 面決定部

4 0 6 代表頂点算出部

4 0 7 代表頂点接続部

30

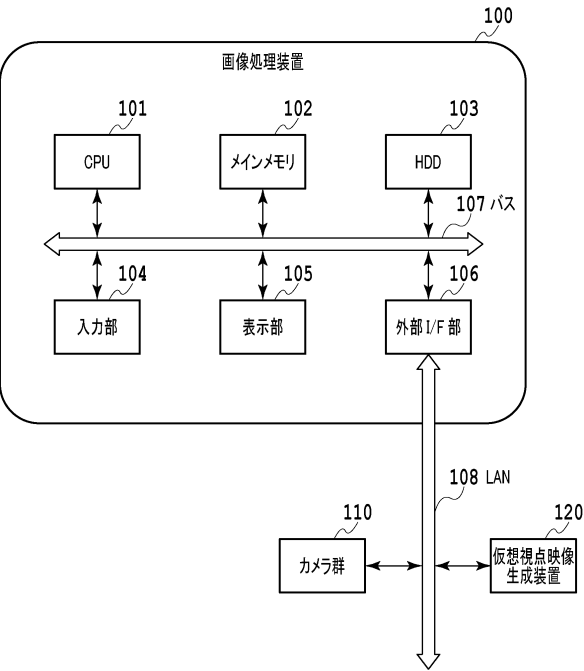
40

50

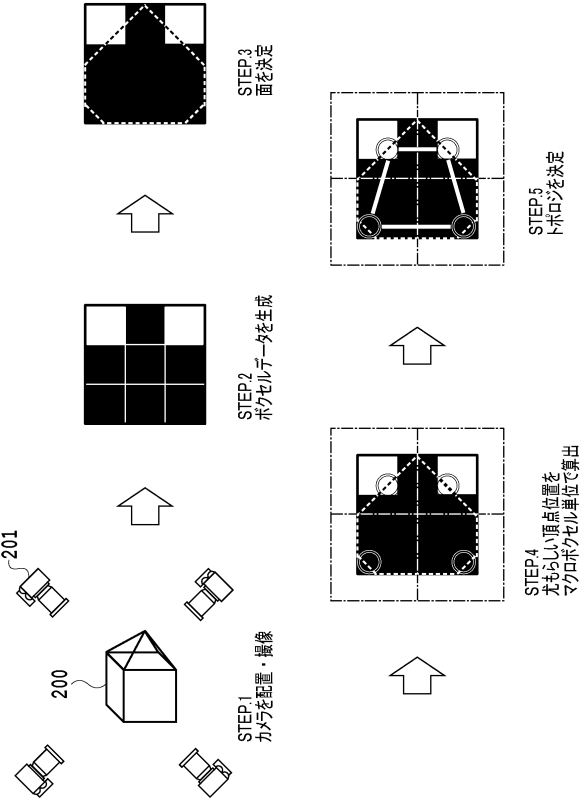


【図面】

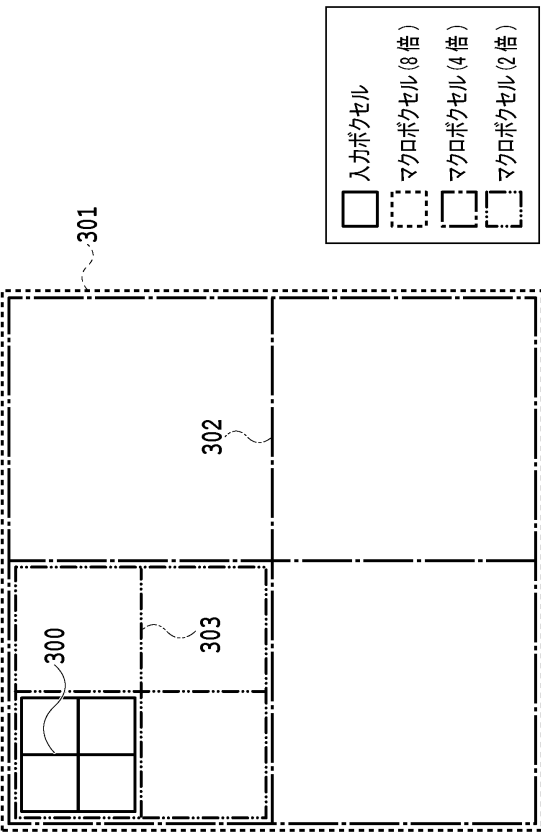
【図 1】



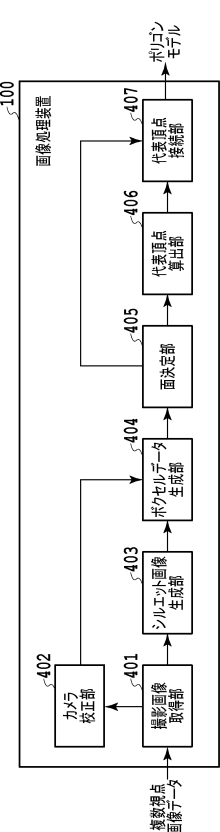
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

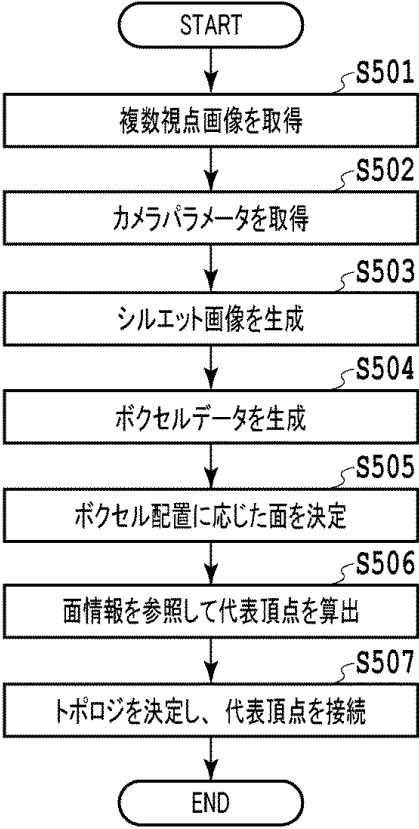
20

30

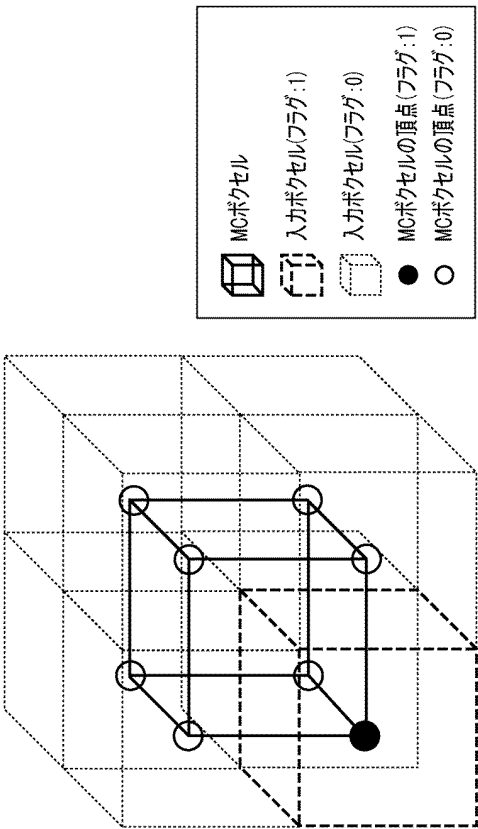
40

50

【図 5】



【図 6】



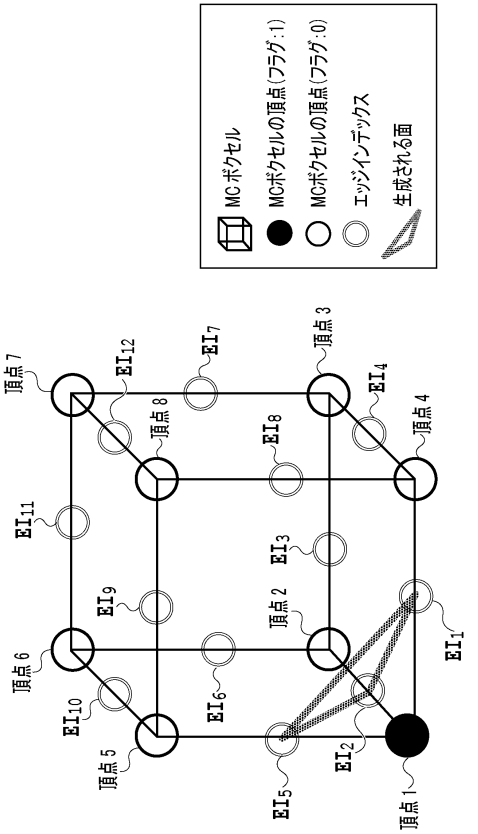
10

20

【図 7】

MC インデックス	エッジインデックス EI	法線の傾き $\simeq (nx, ny, nz)$	隣接 MC ボクセル
1	1,2,5	$\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}$	MV1,MV2,MV3
⋮	⋮	⋮	⋮
256	Non	Non	Non

【図 8】

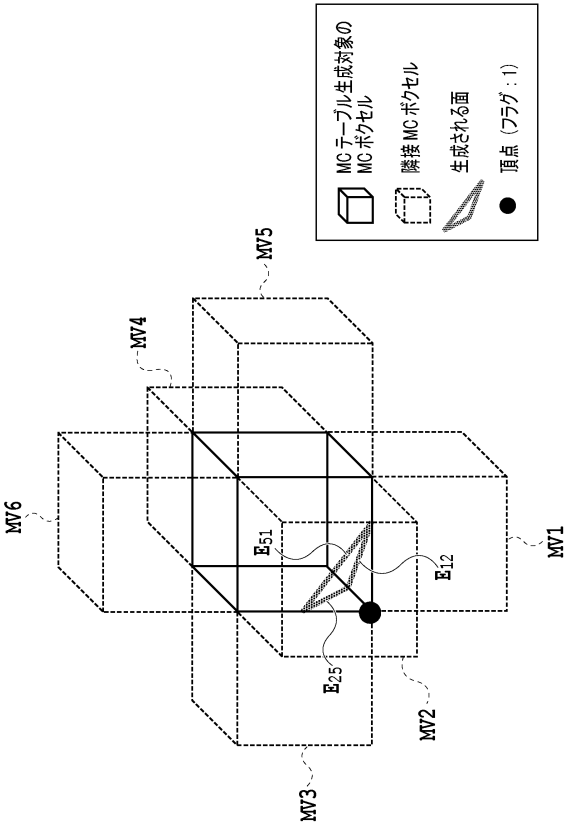


30

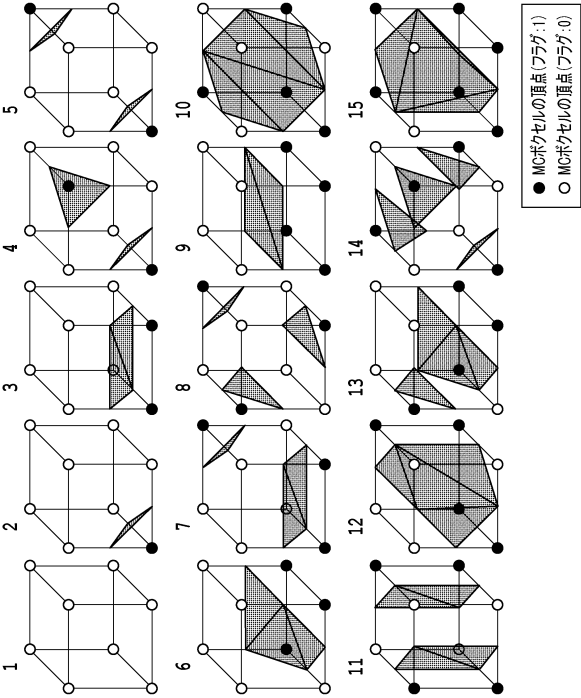
40

50

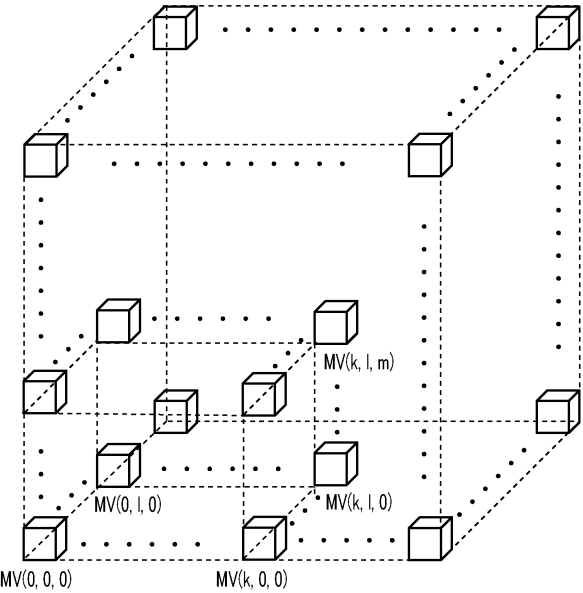
【図 9】



【図 10】

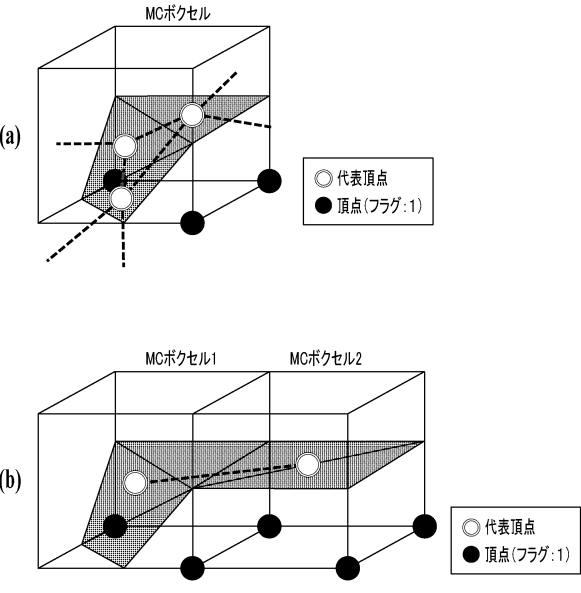


【図 11】



MC ボクセル:  $MV(k, l, m)$  の位置

【図 12】



10

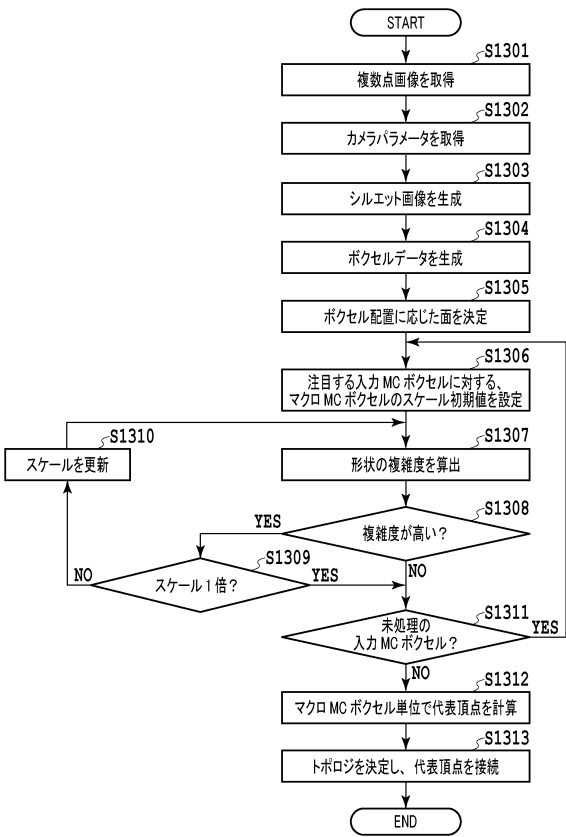
20

30

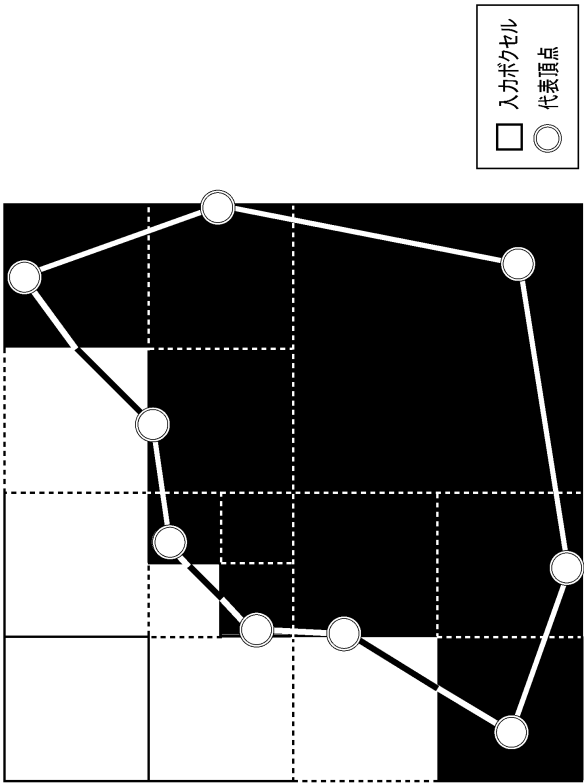
40

50

【図 13】



【図 14】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 若月 大輔 他 4 名，V R オブジェクトの局所的な形状詳細度制御のためのマルチスケールパッチ生成法，電子情報通信学会論文誌，第J86-D-II巻 第5号，日本，社団法人電子情報通信学会，2003年05月01日，pp.697-705
- (58)調査した分野 (Int.Cl.，D B 名)  
G 0 6 T 1 7 / 2 0