

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4635392号
(P4635392)

(45) 発行日 平成23年2月23日(2011.2.23)

(24) 登録日 平成22年12月3日(2010.12.3)

(51) Int.Cl.

F 1

GO6T 19/00	(2011.01)	GO6T 17/40	A
GO1B 11/00	(2006.01)	GO1B 11/00	B
GO1B 11/24	(2006.01)	GO1B 11/24	K
GO1B 11/245	(2006.01)	GO1B 11/24	N
GO6T 17/30	(2006.01)	GO6T 17/30	

請求項の数 8 (全 18 頁)

(21) 出願番号

特願2001-242247 (P2001-242247)

(22) 出願日

平成13年8月9日(2001.8.9)

(65) 公開番号

特開2003-58911 (P2003-58911A)

(43) 公開日

平成15年2月28日(2003.2.28)

審査請求日

平成20年4月25日(2008.4.25)

(73) 特許権者 000001270

コニカミノルタホールディングス株式会社
東京都千代田区丸の内一丁目6番1号

(74) 代理人 100088672

弁理士 吉竹 英俊

(74) 代理人 100088845

弁理士 有田 貴弘

(72) 発明者 藤原 浩次

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13
号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

(72) 発明者 藤井 英郎

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13
号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

審査官 西出 隆二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元物体の表面形状モデリング装置、および、プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピュータがあつかう仮想空間に3次元物体の曲面モデルデータを生成する装置であつて、

a) 前記仮想空間に前記曲面モデルデータを生成するための初期モデルデータを生成する手段と、

b) 現実空間に存在する前記3次元物体を計測することにより得られた3次元座標データの集合である測定点群を入力する手段と、

c) 現実空間に存在する前記3次元物体を撮影することにより得られた2次元の画像データからシルエットデータを生成する手段と、

d) 前記初期モデルデータの複数の点における局所的な前記初期モデルデータと前記測定点群との近似性を示す第1の適合度を算出する第1の算出手段と、

e) 前記初期モデルデータの前記複数の点における局所的な前記初期モデルデータと前記シルエットデータとの近似性を示す第2の適合度を算出する第2の算出手段と、

f) 前記複数の点についての前記第1の適合度と前記第2の適合度との総和を用いて定義される所定の評価量が小さくなるように前記初期モデルデータの前記複数の点を移動して前記初期モデルデータを変形することにより前記3次元物体の曲面モデルデータを生成する生成手段と、

を備えることを特徴とする3次元物体の表面形状モデリング装置。

【請求項 2】

10

20

請求項 1 に記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、

前記生成手段は、

f-1) 前記初期モデルデータに、テンソル積スプライン曲面をフィッティングすることにより前記曲面モデルデータを生成する手段、
を含むことを特徴とする 3 次元物体の表面形状モデリング装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、

前記第 1 の算出手段は、

d-1) 前記仮想空間中における前記初期モデルデータと前記測定点群との距離を近似性の尺度として第 1 の適合度を算出する手段、
を含み、

前記第 2 の算出手段は、

e-1) 前記仮想空間中における前記初期モデルデータと前記シルエットデータとの距離を近似性の尺度として第 2 の適合度を算出する手段、
を含むことを特徴とする 3 次元物体の表面形状モデリング装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、

前記第 2 の算出手段は、

e-1-1) 仮想空間上における撮影視点と当該撮影視点に対応するシルエットの輪郭部とを通る視線を定義し、各視線と前記初期モデルデータとの 3 次元空間上における距離を近似性の尺度として第 2 の適合度を算出する手段、
を含むことを特徴とする 3 次元物体の表面形状モデリング装置。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、

前記第 2 の算出手段は、

e-1-2) 前記初期モデルデータを 2 次元空間に投影することにより得られる 2 次元投影データと、前記シルエットデータとの 2 次元空間上の距離を近似性の尺度として第 2 の適合度を算出する手段、
を含むことを特徴とする 3 次元物体の表面形状モデリング装置。

【請求項 6】

請求項 3 ないし請求項 5 のいずれかに記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、

前記生成手段は、

f-2) 前記第 1 の適合度と前記第 2 の適合度と所定の比率で加算した加算量を含む統合適合度を前記評価量として算出する手段と、

f-3) 前記統合適合度が最小となる場合に、前記曲面モデルデータの前記 3 次元物体への近似性が最も高くなると判断する手段と、
を含むことを特徴とする 3 次元物体の表面形状モデリング装置。

【請求項 7】

コンピュータがあつかう仮想空間に 3 次元物体の曲面モデルデータを生成するプログラムであって、

コンピュータを、

a) 前記仮想空間に前記曲面モデルデータを生成するための初期モデルデータを生成する手段、

b) 現実空間に存在する前記 3 次元物体を計測することにより得られた 3 次元座標データの集合である測定点群を入力する手段、

c) 現実空間に存在する前記 3 次元物体を撮影することにより得られた 2 次元の画像データからシルエットデータを生成する手段、

d) 前記初期モデルデータの複数の点における局所的な前記初期モデルデータと前記測定点群との近似性を示す第 1 の適合度を算出する第 1 の算出手段、

10

20

30

40

50

e)前記初期モデルデータの前記複数の点における局所的な前記初期モデルデータと前記シルエットデータとの近似性を示す第2の適合度を算出する第2の算出手段、および、

f)前記複数の点についての前記第1の適合度と前記第2の適合度との総和を用いて定義される所定の評価量が小さくなるように前記初期モデルデータの前記複数の点を移動して前記初期モデルデータを変形することにより前記3次元物体の曲面モデルデータを生成する生成手段、

として機能させることを特徴とするプログラム。

【請求項8】

請求項7に記載のプログラムにおいて、

前記生成手段は、

10

f-1)前記初期モデルデータに、テンソル積スプライン曲面をフィッティングすることにより前記曲面モデルデータを生成する手段、

を含むことを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、3次元物体の表面形状モデリング技術に関する。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】

<3次元形状入力機により距離画像を直接取得する方法>

20

レーザやパターン光を物体に照射し、物体表面で反射してくる光をセンサで捉えることにより立体物の3次元形状データ（距離画像データ）を密にサンプリングして入力する3次元形状入力機が、近年CGや工業デザインの分野において使用されることが多くなってきた（投光を行わないタイプのものもあるが精度がよくない）。この理由の一つは、3次元形状入力機の使用により現実の物体の形状を仮想空間に借りてくことができ、簡便に望む3次元モデルを作成することが可能となるからである。

【0003】

しかし、上記のような3次元形状入力機は光の物体表面での乱反射特性を利用しているので、黒髪のような表面反射率の低いもの、金属のような表面が鏡面反射を起こすもの、ガラスのような（半）透明なものなどでは、正しく形状が入力できないか、または、データが欠落してしまう（投光を行わないタイプのものでも同様の現象が発生する）。

30

【0004】

<シルエットデータを利用する方法>

このような場合には、物体の遮蔽輪郭から物体形状を推定するShape from Silhouette法と呼ばれる手法が使用されることが多い。この中でも最もよく使用されている方法の1つはVolume Intersection法と呼ばれ、すべての画像中のシルエット内に収まる3D空間の領域を求める。この領域をVisual Hullと呼び、これを求める最も一般的な方法は以下のようになる。

【0005】

図11に示すように、物体を複数の視点位置から撮影するとともにそのカメラの位置、姿勢などを記録しておく（図では、複数の視点のうち、視点1, 2, 3を示している）。次に、図12に示すように、仮想3次元空間中の多数のボクセルと呼ばれる立方形状要素を配置する。なお、図11、12は、いずれも便宜的に2次元の模式図として示している。

40

【0006】

そして、記録しておいたカメラの位置、姿勢などを使用して、ボクセルをすべての画像に投影し、ボクセルのうち、すべての画像において対象物に対応する領域内に投影されたものののみを連結することにより物体の形状を再構成する。

【0007】

Shape from Silhouette法で物体形状を再構成する場合、精度を左右するポイントとなるものの1つは、入力する視点の数である。特に自由曲面物体に対しては、各シルエットに

50

対して、実際の物体表面はごく一部でしか接しないため、生成される3Dモデルは接する部分を除いて元の形状からやや外側に膨らんだ形状となる。図13に、膨らんだ形状として認識される部分（偽の情報）を示している。これを解決するためには、数多くの視点数から入力するほかはない。

【0008】

しかし、数多くの視点から物体の画像を入力するのはユーザへの負担が大きい。回転台やロボットアームなどを用いて自動的に数多くの視点から物体の画像を入力することや、予め多くのカメラを物体の周りに配置しておくことも考えられるが、この方法では、物体の大きさや形状に強い制限が生まれ、また、装置も高価となる。

【0009】

10

<他の従来の方法>

そこで、曲面モデルを直接シルエットにフィッティングすることにより、シルエットに内接する曲面モデルを生成する方法が、例えばSullivanらによって提案されている。彼らの方法により、スプライン曲面の持つ滑らかである性質を利用してより少ない視点から入力画像を用いて物体の3D形状を生成可能である。

【0010】

ここで、Shape from Silhouette法で作成した3Dデータに曲面モデルをフィッティングせず、シルエットに直接曲面モデルをフィッティングしていることが重要である。シルエットから滑らかな曲面モデルを生成するナイーブな方法としてShape from Silhouette法で作成した3Dデータに曲面モデルをフィッティングすることが考えられるが、入力視点数が少ない場合には大きな歪みを生じてしまう。なぜなら、前述したように、特に少ない視点数のシルエット画像からShape from Silhouette法で作成した3Dデータには多くの偽の情報が含まれるからである。

20

【0011】

しかし、この方法を使っても、物体表面の中でどの画像にもシルエットとして画像に表れない凹部分は正しく形状が復元できない。つまり、3次元形状入力機により形状データを入力した場合には、上述したように黒髪部分や金属表面などにおいてデータの欠落が生じるといった問題があり、一方、シルエット画像から3Dデータを作成した場合には、凹部分を復元できないといった問題が生じるのである。

【0012】

30

そこで、特許第2601607号にあるように、3次元形状入力機により形状データを入力すると同時に、シルエット画像から独立に形状を推定し、物体の各部において物体表面の反射率によりどちらか一方を形状情報として選択する方法が提案されている。

【0013】

しかし、この方法は、シルエットから形状を独立に推定するため、3次元形状入力機により入力した部分との境界で、段差などの歪みを発生し易いという欠点がある。また、この方法では、シルエットから形状データを推定するのに、曲面を使用していないため、精度良く形状を再現しようとすると数多くの視点からの入力が必須である。

【0014】

40

段差を発生させないように、3次元形状入力機で測定した形状とそれとは独立にShape from Silhouette法で推定した形状に、同時に曲面をフィッティングしたり、ブレンドしたりすることも考えられるが、前述したように特に少ない視点数のシルエット画像からShape from Silhouette法で作成した3Dデータには多くの偽の情報が含まれるため、うまくいかない。

【0015】

そこで、本発明は以上のような問題点に鑑み、少ない視点からの撮影データを利用しながら、距離画像データによるモデリング方法とシルエットデータによるモデリング方法の両方の長所を生かした曲面モデルの生成技術を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

50

上記課題を解決するため、請求項 1 の発明は、コンピュータがあつかう仮想空間に 3 次元物体の曲面モデルデータを生成する装置であって、a)前記仮想空間に前記曲面モデルデータを生成するための初期モデルデータを生成する手段と、b)現実空間に存在する前記 3 次元物体を計測することにより得られた 3 次元座標データの集合である測定点群を入力する手段と、c)現実空間に存在する前記 3 次元物体を撮影することにより得られた 2 次元の画像データからシルエットデータを生成する手段と、d)前記初期モデルデータの複数の点における局所的な前記初期モデルデータと前記測定点群との近似性を示す第 1 の適合度を算出する第 1 の算出手段と、e)前記初期モデルデータの前記複数の点における局所的な前記初期モデルデータと前記シルエットデータとの近似性を示す第 2 の適合度を算出する第 2 の算出手段と、f)前記複数の点についての前記第 1 の適合度と前記第 2 の適合度との総和を用いて定義される所定の評価量が小さくなるように前記初期モデルデータの前記複数の点を移動して前記初期モデルデータを変形することにより前記 3 次元物体の曲面モデルデータを生成する生成手段と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

請求項 2 の発明は、請求項 1 に記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、前記生成手段は、f-1)前記初期モデルデータに、テンソル積スプライン曲面をフィッティングすることにより前記曲面モデルデータを生成する手段、を含むことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

請求項 3 の発明は、請求項 1 または請求項 2 に記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、前記第 1 の算出手段は、d-1)前記仮想空間中における前記初期モデルデータと前記測定点群との距離を近似性の尺度として第 1 の適合度を算出する手段、を含み、前記第 2 の算出手段は、e-1)前記仮想空間中における前記初期モデルデータと前記シルエットデータとの距離を近似性の尺度として第 2 の適合度を算出する手段、を含むことを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

請求項 4 の発明は、請求項 3 に記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、前記第 2 の算出手段は、e-1-1)仮想空間上における撮影視点と当該撮影視点に対応するシルエットの輪郭部とを通る視線を定義し、各視線と前記初期モデルデータとの 3 次元空間上における距離を近似性の尺度として第 2 の適合度を算出する手段、を含むことを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

請求項 5 の発明は、請求項 3 に記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、前記第 2 の算出手段は、e-1-2)前記初期モデルデータを 2 次元空間に投影することにより得られる 2 次元投影データと、前記シルエットデータとの 2 次元空間上の距離を近似性の尺度として第 2 の適合度を算出する手段、を含むことを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

請求項 6 の発明は、請求項 3 ないし請求項 5 のいずれかに記載の 3 次元物体の表面形状モデリング装置において、前記生成手段は、f-2)前記第 1 の適合度と前記第 2 の適合度とを所定の比率で加算した加算量を含む統合適合度を前記評価量として算出する手段と、f-3)前記統合適合度が最小となる場合に、前記曲面モデルデータの前記 3 次元物体への近似性が最も高くなると判断する手段と、を含むことを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

請求項 7 の発明は、コンピュータがあつかう仮想空間に 3 次元物体の曲面モデルデータを生成するプログラムであって、コンピュータを、a)前記仮想空間に前記曲面モデルデータを生成するための初期モデルデータを生成する手段、b)現実空間に存在する前記 3 次元物体を計測することにより得られた 3 次元座標データの集合である測定点群を入力する手段、c)現実空間に存在する前記 3 次元物体を撮影することにより得られた 2 次元の画像データからシルエットデータを生成する手段、d)前記初期モデルデータの複数の点における局所的な前記初期モデルデータと前記測定点群との近似性を示す第 1 の適合度を算出する第 1 の算出手段、e)前記初期モデルデータの前記複数の点における局所的な前記初期モ

10

20

30

40

50

ルデータと前記シルエットデータとの近似性を示す第2の適合度を算出する第2の算出手段、および、f)前記複数の点についての前記第1の適合度と前記第2の適合度との総和を用いて定義される所定の評価量が小さくなるように前記初期モデルデータの前記複数の点を移動して前記初期モデルデータを変形することにより前記3次元物体の曲面モデルデータを生成する生成手段、として機能させることを特徴とする。

【0025】

請求項8の発明は、請求項7に記載のプログラムにおいて、前記生成手段は、f-1)前記初期モデルデータに、テンソル積スプライン曲面をフィッティングすることにより前記曲面モデルデータを生成する手段、を含むことを特徴とする。

【0026】

10

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。

【0027】

{1.システム構成}

図1、図2を参照しながら、撮影装置10および立体チャート2からなる撮影用システム、および、曲面モデル生成プログラムAPがインストールされたパーソナルコンピュータ20（以下、PC20とする）の構成について説明する。

【0028】

撮影装置10は、3次元物体である被写体1の2次元（2D）カラー画像と距離画像（3次元座標のデータ群）とを同時取得可能な装置である。本実施の形態においては、図2に示すように、デジタルカメラ兼用レンジカメラを撮影装置10として利用する。

20

【0029】

被写体1が配置される空間内において、被写体1の近傍には、カメラ校正用の立体チャート2が配置されている。立体チャート2は、略角錐状の本体の各側面にチャートパターンCPが施された立体物であり、チャート支持具から吊り下げられている。好ましくは、立体チャート2は被写体1の略上方に吊り下げられる。

【0030】

撮影装置10は、被写体撮影用カメラ10aと可動式カメラ10bとを備えている。さらに、被写体撮影用カメラ10aは、デジタルカメラとしての機能を有する2D撮影部11と、被写体1の距離画像を取得する3D測定部12とを備えている。そして、被写体撮影用カメラ10aの上部に、位置・姿勢センサとして機能する可動式カメラ10bが姿勢変更自在に取り付けられている。

30

【0031】

可動式カメラ10bは、立体チャート2上のパターンに含まれる複数の単位图形を撮影することにより、立体チャート2と可動式カメラ10bとの相対的な位置姿勢関係を特定し、さらには立体チャート2に対して相対的に固定された絶対座標系における、被写体撮影用カメラ10aの位置および姿勢を検出するために使用される。

【0032】

撮影装置10では、被写体撮影用カメラ10aによって、被写体1の2Dカラー画像および距離画像が入力される際に、同時に、立体チャート2を追尾している可動式カメラ10bによって、立体チャート2の画像が撮影される。そして、解析部15において、被写体撮影カメラ10aの撮影した画像と、可動式カメラ10bの撮影した画像との解析処理が行われ、被写体撮影用カメラ10aの撮影位置データ432および撮影姿勢データ433が算出される（これらのデータは、図5に示すように、後でPC10側に転送される）。なお、可動式カメラ10bに代えて、撮影装置10に加速度センサ付ジャイロセンサを搭載することにより、位置・姿勢データの検出を行うようにしてもよいし、可動式カメラ10bとジャイロセンサとを併用してもよい。

40

【0033】

そして、算出された撮影位置データ432および撮影姿勢データ433（距離画像データに関して言えば、測定位置データ432および測定姿勢データ433と呼ぶべきであるが

50

)が、被写体1の2Dカラー画像データ41、距離画像データ42と組になってメモリ16に記録される。

【0034】

このとき、光学ユニット制御データ431も同様に一組となってメモリ16に記録される。光学ユニット制御データ431は、被写体撮影用カメラ10aの光学ユニット13から出力される制御信号をデータ化したものであり、被写体撮影用カメラ10aのフォーカス、ズームなどの制御情報である。

【0035】

この光学ユニット制御データ431、撮影位置データ432、および、撮影姿勢データ433を総称して環境データ43と呼ぶこととする。

10

【0036】

PC20は、CPU21、メモリ22等を備えており、ハードディスク23には、曲面モデル生成プログラムAPがインストールされている。曲面モデル生成プログラムAPの処理内容については後述するが、撮影装置10から入力した2Dカラー画像データ41、距離画像データ42、環境データ43から、被写体1の3次元モデルを生成する処理を実行するものである。

【0037】

撮影装置10からPC20へのデータの転送方法は特に限定されるものではないが、たとえば、IrDA (Infrared Data Association) 規格による赤外線通信などを利用することが可能である。

20

【0038】

{2.曲面モデル作成手順の概要}

以上の構成からなる3次元モデル生成システムによる曲面モデル作成手順を、図3のフローチャートを用いて説明する。

【0039】

まず、撮影装置10を用いて、複数視点から2Dカラー画像および距離画像の撮影および測定を行う。撮影装置10を被写体1の様々な方向に移動させながら、撮影および測定を行うことにより、これら2Dカラー画像データ41、距離画像データ42と環境データ43とが一組としてメモリ16に順次記録される(ステップS1)。

【0040】

30

次に、撮影装置10に記録された2Dカラー画像データ41、距離画像データ42および環境データ43をPC20に転送する(ステップS2)。

【0041】

そして、PC20において、曲面モデル生成プログラムAPを起動させ、2Dカラー画像データ41、距離画像データ42、環境データ43を入力データとして処理を実行し、3次元形状モデルである曲面モデルデータ49を生成する(ステップS3)。

【0042】

{3.曲面モデル生成プログラムによる処理内容}

次に、図4のフローチャートおよび図5を参照しながら、曲面モデル生成プログラムAPの処理内容について説明する。図5は、曲面モデル生成部30の機能ブロック構成と各種データの流れを表した図である。曲面モデル生成部30は、曲面モデル生成プログラムAPが、PC20のハードウェア資源を利用することにより実現される機能部であり、図では、さらに、その機能構成を分解して示している。

40

【0043】

曲面モデル生成部30は、まず、データ入力部31により、2Dカラー画像データ41、距離画像データ42および環境データ43を入力する(ステップS31)。ここで、光学ユニット制御データ431は、事前に作成されている光学ユニット制御データと光学パラメータとの対応テーブルを利用して光学パラメータに変換される。

【0044】

<3-1.距離画像データの変換>

50

次に、曲面モデル生成部30の座標変換部32により距離画像データ42の座標変換が行われる(ステップS32)。撮影装置10から出力される距離画像データ42は、様々な撮影位置および撮影姿勢で測定された3次元座標のデータ群であり、これらは、被写体撮影用カメラ10aの位置を基準とした相対座標として記録されたものである。

【0045】

そこで、座標変換部31は、環境データ43に含まれる撮影位置データ432、撮影姿勢データ433をもとに、距離画像データ42の相対座標値をワールド座標値に変換するのである。ワールド座標値は、仮想空間上に定義された原点を基準とした座標系であり、様々な撮影位置、撮影姿勢で測定された距離画像データ42が、ワールド座標値に変換されることにより、これらを統一した座標系で扱うことが可能となる。そして、距離画像データ42をワールド座標値において統合することで被写体1の3次元形状データを生成することが可能となるのである。このワールド座標値に変換された距離画像データを、距離画像データ45とする。10

【0046】

<3-2. シルエットデータの生成>

次に、曲面モデル生成部30の画像解析部33により2Dカラー画像データ41からシルエット画像データ44の生成処理が行われる(ステップS33)。画像解析部32は、2Dカラー画像データ41を解析し、物体表面と背景との色差をもとに、物体の輪郭を抽出し、シルエットデータ44を生成するのである。シルエット画像データ44は、2値化された画像データであり、たとえば、輪郭の内部を"1"、輪郭の外部を"0"とするようなデータである。20

【0047】

このシルエット画像データ44は、ある視点(撮影位置)から見た被写体1のシルエット、つまり、被写体1の2次元空間への投影画像である。そして、様々な視点から撮影された2Dカラー画像データ41が、それぞれ、シルエット画像データ44に変換されることにより、被写体1を各視点からみたシルエットが取得されるのである。

【0048】

<3-3. 初期モデルデータの生成>

次に、初期モデル生成部34によりシルエット画像データ44を利用して初期モデルデータ47が生成される(ステップS34)。初期モデルデータ47は、曲面モデル生成部30が最終的に出力する曲面モデルデータ49を生成するための基本となるデータである。つまり、曲面モデル生成部30は、まず、被写体1の大まかな曲面モデルとして初期モデルデータ47を生成し、この初期モデルデータ47を加工することにより、最終的に精度の高い(つまり、現実空間の被写体1により近い)曲面モデルデータ49を生成するのである。30

【0049】

初期モデルデータ47の生成処理について図6のフローチャートを参照しながら説明する。本実施の形態においては、Shape from Silhouette法、とくに、Volume Intersection法により物体の大まかな形状データを生成する(ステップS341)。

【0050】

上述したようにVolume Intersection法は、仮想3次元空間中に多数のボクセルと呼ばれる立方体形状を配置する。そして、各視点(撮影点)と、当該視点からの撮影により取得されたシルエット画像データ44の輪郭(外周部)を結ぶ錐体状の領域内のボクセルを抽出する。そして、各錐体状の領域との共通部分に存在するボクセルを連結することにより被写体1の大まかな形状データが生成される。つまり、Volume Intersection法により求められる被写体1の形状データは、多数の立法格子の集合体として仮想空間上に配置されるものである。

【0051】

なお、各シルエット画像データ44は、異なる視点(撮影位置)から撮影された2Dカラー画像41から抽出されたデータであるため、これら複数のシルエット画像データ44を4050

統合して処理するためには、共通の座標系に変換する必要がある。そこで、初期モデル生成部 3 4 は、環境データ 4 3 に含まれる光学ユニット制御データ 4 3 1（光学パラメータ）、撮影位置データ 4 3 2、撮影姿勢データ 4 3 3 を利用することによって、各視点を共通のワールド座標系に配置したうえで、上記Volume Intersection法を実行するのである。

【 0 0 5 2 】

Volume Intersection法により物体の大まかな形状データが求まるとき、次に、そのデータを3角ポリゴンメッシュデータに変換する（ステップ S 3 4 2）。さらに、後の工程で曲面化を行うために、3角ポリゴンメッシュデータを4角ポリゴンメッシュデータに変換する（ステップ S 3 4 3）。

10

【 0 0 5 3 】

3角ポリゴンメッシュデータを4角ポリゴンメッシュデータに変換する方法は、たとえば、Matthias Eck and Hugues Hoppe, "Automatic reconstruction of B-spline surface of arbitrary topological type", SIGGRAPH'96 Proceedings, 1996, Pages 325 - 334 にあるように隣接する3角形同士を組み合わせて4角形にすることにより行うことができる。

【 0 0 5 4 】

さらに、上記のEckの論文にある方法により、4角形メッシュデータからBスプライン曲面を生成する（ステップ S 3 4 4）。この方法を用いるとBスプライン曲面の制御点は、すべて変換前の4角形メッシュの頂点のアフィン結合で与えられる。

20

【 0 0 5 5 】

Eckらの方法では、4角形メッシュの各ポリゴンに対して自身の頂点と隣接するポリゴンの頂点のアフィン結合により、スプライン曲面パッチを生成する。このとき、隣り合う曲面パッチ同士が滑らかに接続されるようにアフィン結合係数を定めることにより全体として滑らかなスプライン曲面を生成する。

【 0 0 5 6 】

ベクトル y がベクトル x_1, x_2, \dots, x_N のアフィン結合で表されているとは、ベクトル y が数1式で表されていることをいう。

【 0 0 5 7 】

【 数 1 】

30

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \sum_i w_i x_i \\ \sum_i w_i = 1 \end{array} \right.$$

【 0 0 5 8 】

Eckの論文では、 j 番目のBスプライン曲面の制御点 y_j は、元の4角形メッシュの頂点 x_1, x_2, \dots, x_N を使って数2式のように表されている。

【 0 0 5 9 】

【 数 2 】

40

$$\left\{ \begin{array}{l} y_j = \sum_i w_{ij} x_i \\ \sum_i w_{ij} = 1 \end{array} \right.$$

【 0 0 6 0 】

Bスプライン曲面は、パラメトリック曲面であるテンソル積スプライン曲面の1つであり、Bスプライン曲線と同様の方式で定義される自由曲面である。本実施の形態においては

50

、このように、テンソル積スプライン曲面を利用しているので、一般的な C A D や C G のソフトウェアによって、本システムにより生成された曲面モデルを容易に読み込むことが可能である。また、スプライン曲線は、制御点を移動させることにより、曲線の曲率または張力をコントロールすることが可能であるが、B スプライン曲線は、制御点の移動により局所的な曲線の制御が可能であるという特徴があるので、曲面モデルの修正作業などが行い易い。

【 0 0 6 1 】

本実施の形態においては、B スプライン曲面を使用したが、陰的多項関数、ベジエ曲面パッチ、グレゴリ - パッチ、N U R B S などの他の表現の曲面を使用してもよい。

【 0 0 6 2 】

以上の初期モデル生成部 3 4 の処理により、被写体 1 の初期モデルデータ 4 7 が生成される。なお、本実施の形態においては、初期モデルデータ 4 7 を生成するために、Shape from Silhouette 法を利用したが、初期モデルの生成方法は特に限定されるものではない。また、計測データを利用せずに、あらかじめディスク等に蓄積されている所定立体形状サンプルの 3 D データをロードして利用するようにしてもよいし、プリミティブを組み合わせること等により初期モデルを作成するようにしてもよい。

【 0 0 6 3 】

以上説明した、距離画像データ 4 2 のワールド座標への変換処理（ステップ S 3 2 ）と、初期モデルデータ 4 7 の生成処理（ステップ S 3 4 ）の処理順序は特に限定されるものではなく、初期モデルデータ 4 7 の生成処理後、距離画像データ 4 2 のワールド座標への変換処理を実行するようにしてもよい。

【 0 0 6 4 】

< 3 - 4 . フィッティング処理 >

次に、ステップ S 3 4 で求めた初期モデルデータ 4 7 を用いて最終的な 3 D モデルデータ 4 9 を生成する処理について説明する。具体的には、初期モデルデータ 4 7 と距離画像データ 4 5 との間で、仮想空間における両データの近似性を適合度として求め、また、初期モデルデータ 4 7 とシルエット画像データ 4 4 との間で、仮想空間における両データの近似性を適合度として求め、この 2 つの適合度の加算量を含む統合適合度をエネルギーとして評価するのである。そして、このエネルギーが最小となるように、初期モデルデータ 4 7 を変形することによって 3 D モデルデータ 4 9 を生成するのである。3 D モデルデータ 4 9 の生成は、初期モデルデータ 4 7 に B スプライン曲面をフィッティングすることによって行われる（ステップ S 3 5 ）。

【 0 0 6 5 】

ここで、上述した距離画像データ 4 5 との適合度とシルエット画像データ 4 4 との適合度の加算量を含むエネルギーの評価は、次の式を用いる。

【 0 0 6 6 】

【 数 3 】

$$J = \lambda_0 J_0 + \lambda_1 J_1 + \lambda_2 J_2$$

40

【 0 0 6 7 】

数 3 式中、 J_0 は、Sullivan の論文にあるようにシルエット上を通る各視線と、その視線から最も近い曲面モデルデータ 4 9 （初期状態は初期モデルデータ 4 7 ）の曲面上の 1 点との距離の 2 乗平均である。

【 0 0 6 8 】

具体的な算出方法を図 7 を参照しながら説明する。視点 A と当該視点 A に対応するシルエット B について、シルエット B の輪郭上の点と視点 A とを結ぶ視線 C を考える。この視線 C を仮想空間上において初期モデルデータ 4 7 の領域まで延長させると、初期モデルデータ 4 7 の曲面上の各点と各視線 C までの距離 d を算出することができる。そして、各視線

50

Cについて最も近い曲面上の点を選択してその距離dを算出し、全視線について、そのような距離dの2乗平均を算出するのである。

【0069】

Sullivanらの方法では、シルエットを通る視線が初期モデルデータ47の曲面と交差しないとき(図8で示すようなケース)は視線から最も近い曲面上の点P1を最近点とする。しかし、交差するとき(図9で示すようなケース)は交差する点が常に最近点となってしまうので、これを避けるために、視線からシルエットの外側に向かう法線nの方向に最も遠い曲面上の点を最近点P2として選択する方法がとられているのである。ステップS341においてボクセルの連結として生成された形状モデルは、シルエットを通る視線と交差することはないが、その形状モデルがステップS342～S344において、3角メッシュ、4角メッシュ、Bスプライン曲面と変形される際に外側に膨らんで変形される場合がある。このような場合に、視線と初期モデルデータ47の曲面とが交差する場合が生じるのである。10

【0070】

また、視線に最も近い点の探索は、初期モデルデータ47の曲面上の全ての点について、あらかじめ3次元座標値を求めておき、その中で最も視線に近いものを選択するという方法により、より簡単に算出することが可能である。

【0071】

各視線について最も近い曲面上の点を選択する方法として、上記方法は、視線に3次元的に最も近い点を探索する方法をとっているが、画像面上で2次元的に最も近い点を探索する方法でもよい。たとえば、図10に示すように、初期モデルデータ47をシルエット画像データ44と同一の平面上に投影し(この投影されたデータを投影データEとする)、投影された曲面のシルエット上の点の中から、シルエットの輪郭F上の点と最も近い点を選択する方法などが考えられる。ただし、この方法をとる場合、視線と3次元的に最も近い点として選択された点とは同じ点が選択されるわけではない。20

【0072】

また、上記方法は、視線と選択された点との3次元的な距離の2乗和を最小とするように評価する方法であるが、画像面上において2次元的な距離(図10における距離d')の2乗和を最小とするように評価する方法でもよい。このような方法をとった場合にも似たような効果が得られるが、たとえば、シルエット画像データ44の中に何枚かのズームアップされた画像が含まれている場合などでは結果に差が生じる。つまり、ズームアップされた画像では、非ズームの場合と比較して、実空間での距離が同じであっても2D画面上ではその距離に対応する画素数が多くなるために、2次元的な距離を評価する方法においては、ズームアップして撮影したシルエット画像に対しては、曲面モデルデータ4との距離が非ズーム画像よりも大きな測度(measure)で評価されることになり、そのシルエットに合致するように重み付けられてフィッティングされるという効果がある。したがって、被写体1の形状の中で特に精密にフィッティングしたい部分がある場合には、他の部分と比較して2D画像の取得の際にその部分の撮影倍率を上げるようすればよいことになる。30

【0073】

また、J₁は、距離画像中の各3D点とその3D点から最も近い曲面モデルデータ49(初期状態は初期モデルデータ47)の曲面上の1点との距離の2乗平均である。

【0074】

J₂は、やはり、Sullivanの論文にあるように曲面の各部での曲率を評価したものとの和であり、一般にthin-plate energyと呼ばれるものである。そして、エネルギーJ₂が小さくなるように曲面をフィッティングするということは、曲面を滑らかに繋ぐという効果が得られるものであり、特に、距離画像データ45やシルエット画像データ44が近くにない曲面部分を、その周りと滑らかに繋ぐ役割がある。

【0075】

すなわち、エネルギーJの各成分J₀、J₁、J₂のうち、

10

20

30

40

50

(1) J_0 は、曲面モデルデータ49(初期状態は初期モデルデータ47)とシルエット画像データ44との位置ずれに対応する位置エネルギー、

(2) J_1 は、曲面モデルデータ49(初期状態は初期モデルデータ47)と距離画像45との位置ずれに対応する位置エネルギー、

(3) J_2 は、曲面モデルデータ49(初期状態は初期モデルデータ47)の弾性エネルギー、

に相当し、それらのエネルギーの総和を最小とするような変分原理に基づいて、曲面モデルデータ49を決定する。

【0076】

このように、本実施の形態においては、曲面をフィッティングする評価として、シルエット画像データ44との距離を近似性の尺度とした適合度と、距離画像データ45との距離を近似性の尺度とした適合度の両方を評価し、これら適合度の総和が小さくなるように評価しているので、様々な形状、表面特性の被写体1に対しても、より現物に近い形状モデルを被写体1の全周にわたって構成することが可能である。 10

【0077】

また、上記 J_0 , J_1 は、それぞれ距離の2乗平均を近似性の尺度として用いているが、近似性の尺度はこれに限定されるものではない。たとえば、距離の絶対値の平均を最小にするような評価をすることも可能である。いずれにしても、ユークリッド空間上における距離を近似性の尺度とし、距離画像とシルエットの双方に対して距離が小さくなるような評価を行うことにより、現実の物体と視覚的に近似した形状モデルを構成することが可能となるのである。 20

【0078】

数3式を最小とするBスプライン曲面のパラメータは、たとえば、山登り法などを用いて反復計算することができる。

【0079】

ここで、上述したようにBスプライン曲面の制御点はもとの4角形メッシュデータの頂点のアフィン結合で構成されている。つまり、Bスプライン曲面の制御点は元の4角形メッシュの頂点列のアフィン結合として一意に決めることができるので、この曲面の形状を決定する本質的な情報は元の4角形メッシュの頂点列がすべて持っていることとなる。したがって、元の4角形メッシュの頂点列を動かすことのみで、曲面の形状を完全に制御することができる。よって、フィッティング処理部35は、元の4角形メッシュの頂点列を動かすことによりデータにフィットする曲面形状を生成するのである。 30

【0080】

なお、 J_0 , J_1 , J_2 は、ユーザ指定の定数である。ユーザはこれらの定数を操作することにより、距離画像データとの評価を重視する、シルエットデータとの評価を重視する、曲率との評価を重視する、といった重み付けをすることができる。被写体1に低反射率の部分が多い場合にはシルエットデータとの評価を重視することが効果的であろうし、凹部が多い場合には、距離画像データとの評価を重視することが効果的である。

【0081】

上記方法により、エネルギーJが最小となるように変形した曲面モデルデータに対して、再び、シルエット上を通る各視線とその視線から最も近い曲面上の点、および、距離画像中の各3D点とその3D点から最も近い曲面上の点を求め直し、さらに、エネルギーJが最小となるように操作を繰り返す。そして、エネルギーJが収束したところで処理を終了し曲面モデルデータ49を出力するのである。 40

【0082】

すなわち、エネルギーJは、曲面モデルデータ上の各制御点をパラメータとする多変数関数であるため、エネルギーJの全体を最小化するように制御点を動かしたときに、制御点のそれぞれが直接に関係する局所エネルギーのすべてが最小になっているとは限らず、一部の制御点付近の局所エネルギーが変化前よりも高くなったり、制御点と参照画像(シルエット画像や距離画像)との距離を規定する参照画像上の点(図8および図9の例)で言え 50

ば、点 P 1 や P 2 : 以下「距離定義点」)が、変化前とは別の領域に出現する場合がある。したがって、エネルギー J を一回だけ最小化してもそれが最適解とは限らないため、エネルギー J を一回最小化するごとに距離定義点を再定義し、新たな距離定義点に基づいてエネルギー J の最小化を再度行う、という繰返し演算を、エネルギー J が収束するまで行って(換言すれば、距離定義点の再定義が不要になるまで行って)、最終的な最適解を得ることになる。

【 0 0 8 3 】

フィッティング処理部 35 により曲面モデルデータ 49 が生成されると、生成された形状モデルがモニタ 24 上に表示される。さらに、ユーザは、必要に応じて、曲面モデルデータ 49 に対して修正を加える。また、ユーザは生成された曲面モデルデータ 49 を他の CG ソフトウェア等により自由に修正することが可能である。10

【 0 0 8 4 】

本実施の形態にかかる曲面モデル生成プログラムは、主に映像製作などの分野に利用される。最近では、WEB 上で 3D を表示することにより、WEB 上の 3D カタログや 3D マニュアルが提供されているが、これら 3D データには、物体の全周について、より現物に近い形状モデルが必要とされる。本実施の形態にかかる曲面モデル生成プログラムを利用することで、物体に表面反射率の低い部分や、凹部が存在する場合でも、少ない視点数から物体の全周について形状モデルを構成することが可能であるので、これらの分野への応用が可能である。20

【 0 0 8 5 】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項 1 記載の発明では、3 次元物体を計測することにより得られた 3 次元座標データの集合である測定点群と、3 次元物体を撮影することにより得られた 2 次元のシルエットデータの両方について近似性を総合的に評価することにより、曲面モデルを生成するので、特に、3 次元物体の凹部における形状再現性を最大限保ちながらデータ欠落のない 3 次元形状モデルを少ない入力視点数で生成可能となる。30

【 0 0 8 6 】

また、曲面を使用する副次的な効果として、ノイズやキャリブレーションエラーの影響をデータ平滑化により緩和したり、ポリゴンメッシュなどに比べて少ないデータ量で自由曲面を表すなどの効果が得られる。30

【 0 0 8 7 】

請求項 2 記載の発明では、曲面の形態として、テンソル積スプライン曲面を採用したので、一般的な CAD や CG ソフトウェアで容易に読み込むことができ、それらのソフトウェアを利用して修正を行うことや、解析を行うことが可能となる。30

【 0 0 8 8 】

請求項 3 記載の発明では、初期モデルデータと測定点群との距離を近似性の尺度として第 1 の適合度を算出し、初期モデルデータとシルエットデータとの距離を近似性の尺度として第 2 の適合度を算出するので、測定点群とシルエットデータの双方と視覚的に近似した形状モデルを生成することが可能である。40

【 0 0 8 9 】

請求項 4 記載の発明では、シルエット上を通る各視線と初期モデルデータとの距離を近似性の尺度として第 2 の適合度を算出するので、より再現性の高い 3 次元モデルを生成可能である。40

【 0 0 9 0 】

請求項 5 に記載の発明では、初期モデルデータとシルエットデータとの 2 次元の画像面上における距離を近似性の尺度として第 2 の適合度を算出するので、より再現性の高い 3 次元モデルを生成可能である。50

【 0 0 9 1 】

請求項 6 記載の発明では、初期モデルデータと測定点群との距離を近似性の尺度とした第 1 の適合度と、初期モデルデータとシルエットデータとの距離を近似性の尺度とした第 2

の適合度との加算量を含む統合適合度を評価し、統合適合度が最も小さくなるように曲面モデルを生成するので、2つの適合度を融合した総合評価が可能となる。

【0093】

請求項7、8記載の発明は、プログラムの発明であり、当該プログラムがコンピュータにおいて実行されることにより、3次元物体の凹部における形状再現性を最大限保ちながらデータ欠落のない3次元形状モデルを少ない入力視点数で生成可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】3次元形状モデルを生成するシステム全体構成を示す図である。

【図2】撮影システムのイメージ図である。

【図3】曲面モデル作成の全体の手順を示すフローチャートである。 10

【図4】曲面モデル生成プログラムの機能ブロック構成図と、データの流れを示す図である。

【図5】曲面モデル生成プログラムの処理内容を示すフローチャートである。

【図6】初期モデルデータの生成処理を示すフローチャートである。

【図7】シルエット画像データとの距離を3次元空間上で算出する方法を示す図である。

【図8】視線と曲面とが交差しない場合に定義される距離を示した図である。

【図9】視線と曲面とが交差する場合に定義される距離を示した図である。

【図10】シルエット画像データとの距離を2次元空間上で算出する方法を示す図である。

【図11】Volume Intersection法による形状データの生成方法を示す図である。 20

【図12】visual hull内に存在するボクセルを示す図である。

【図13】各視線と物体との接点、および、Volume Intersection法によって生成された形状データの偽の情報の存在を示す図である。

【符号の説明】

1 被写体（3次元物体）

10 撮影装置

20 PC

31 データ入力部

32 座標変換部

33 画像解析部

30

34 初期モデル生成部

35 フィッティング処理部

41 2Dカラー画像データ

42 距離画像データ

43 環境データ

44 シルエット画像データ

45 (ワールド座標系)距離画像データ

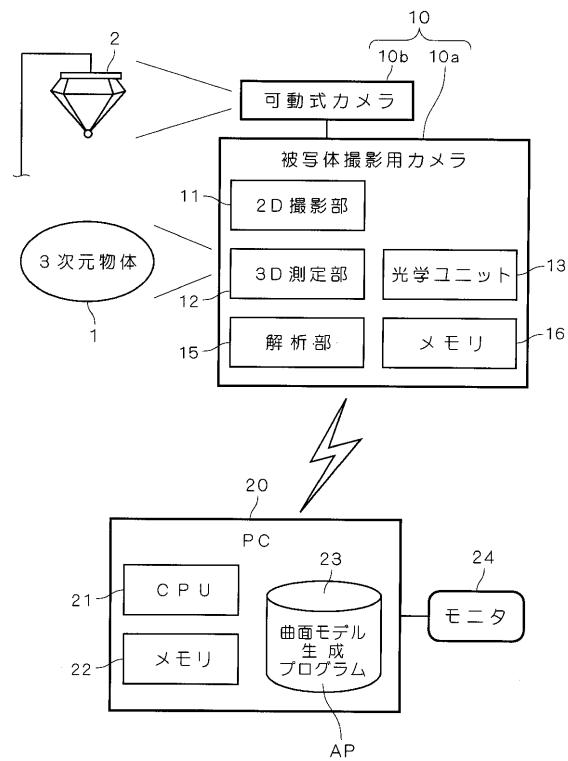
47 初期モデルデータ

49 曲面モデルデータ

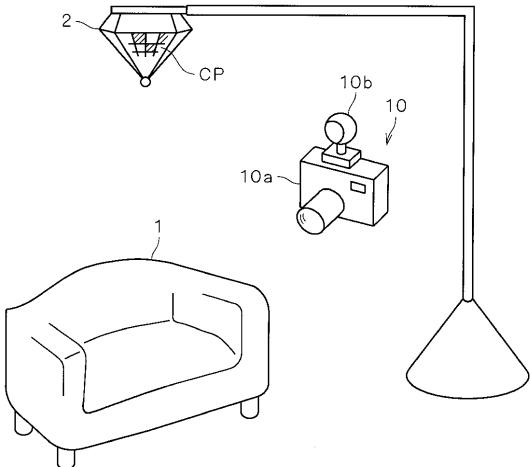
AP 曲面モデル生成プログラム

40

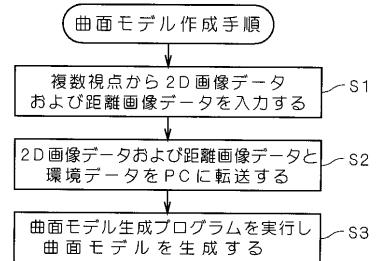
【図1】



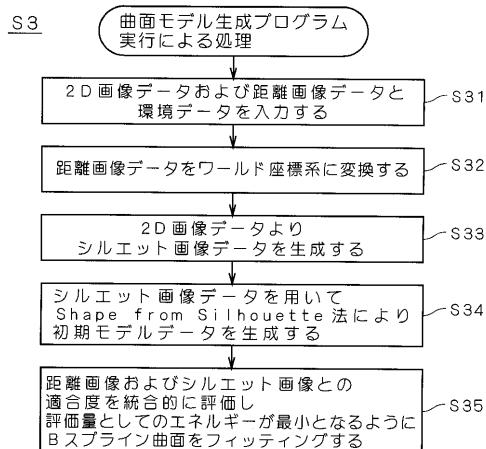
【図2】



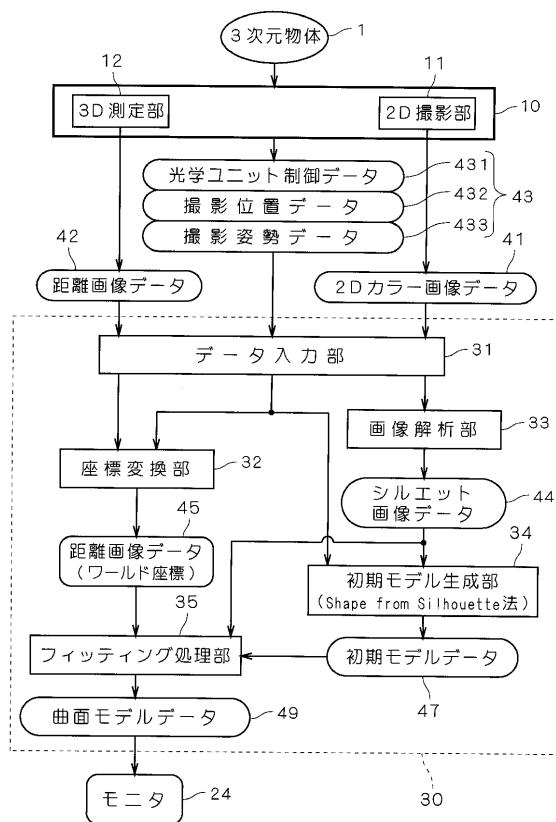
【図3】



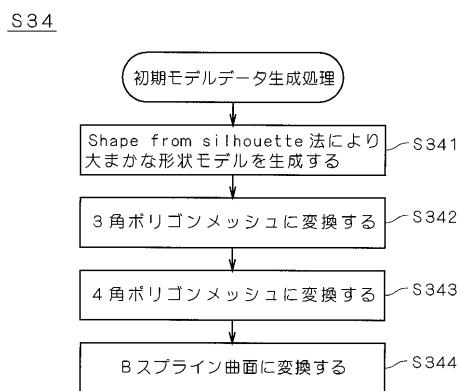
【図4】



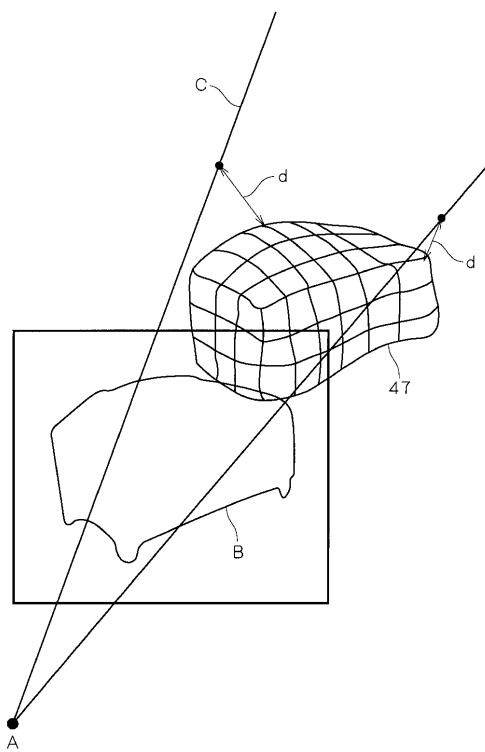
【図5】



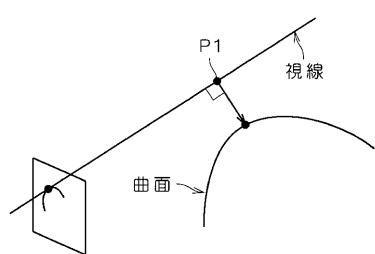
【図 6】



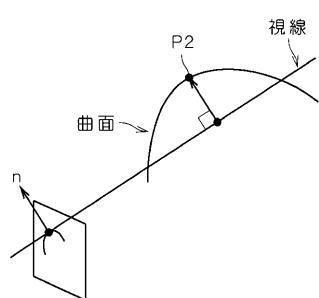
【図 7】



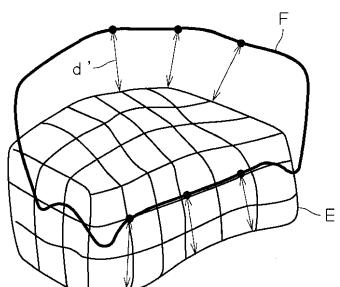
【図 8】



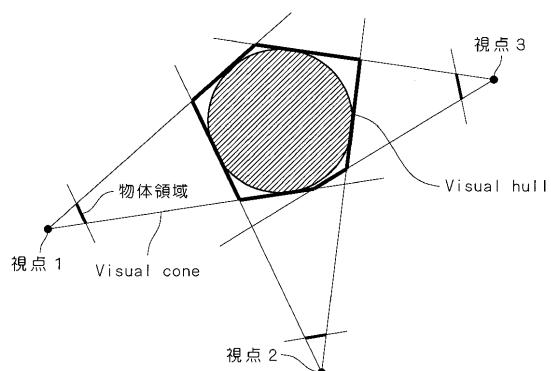
【図 9】



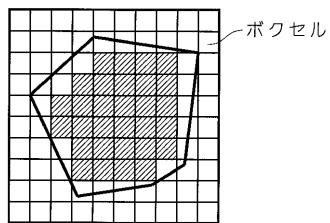
【図 10】



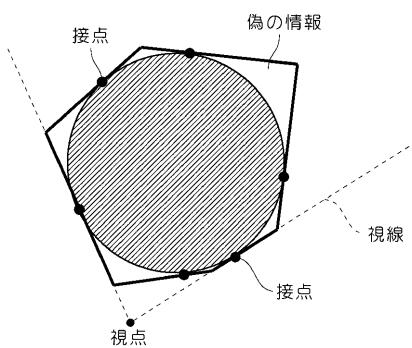
【図 11】



【図 1 2】



【図 1 3】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平05-081377(JP,A)

渡部 保日児 Yasuhiko WATANABE, レンジデータとシルエット画像を併用する頭部形状の入力
と画像生成手法 Digitizing and Visualizing Human Heads, 画像電子学会誌 第22巻 第5
号 THE JOURNAL OF THE INSTITUTE OF IMAGE ELECTRONICS ENGINEERS OF JAPAN, 日本, 画像電
子学会, 1993年10月25日, 第22巻 第5号, 493~499頁

今尾 公二 Koji IMAO, シルエット画像に基づいて個人体形を反映する3次元形状モデルの変
形法 - 仮想試着室の実現に向けて A Deformation Method of Body Shape Models Based on Sil
houette Images of Persons For Virtual Fitting Rooms, 電子情報通信学会論文誌 (J82
- D - II) 第10号 THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION A
ND COMMUNICATION ENGINEERS D-II, 日本, 社団法人電子情報通信学会 THE INSTITUTE OF ELEC
TRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS, 1999年10月24日, 第J82-D-II巻
第10号, 1684~1692頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 17/40

G01B 11/00

G01B 11/24

G06T 17/30