

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-120026
(P2014-120026A)

(43) 公開日 平成26年6月30日(2014.6.30)

(51) Int.Cl.			F I	テーマコード (参考)		
G06T	1/00	(2006.01)	G06T	1/00	200E	5B050
G06T	15/08	(2011.01)	G06T	15/08		5B080
G06T	7/00	(2006.01)	G06T	7/00	C	5L096
			G06T	7/00	300H	

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2012-275452 (P2012-275452)
(22) 出願日 平成24年12月18日 (2012.12.18)

(出願人による申告) 平成24年度総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度 地域ICT振興型研究開発プログラム 産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 304027349
国立大学法人豊橋技術科学大学
愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
(74) 代理人 100095577
弁理士 小西 富雅
(74) 代理人 100100424
弁理士 中村 知公
(74) 代理人 100179202
弁理士 木村 誠司
(72) 発明者 青野 雅樹
愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 国立
大学法人豊橋技術科学大学内
(72) 発明者 立間 淳司
愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 国立
大学法人豊橋技術科学大学内
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元物体モデルを検索するための方法、コンピュータプログラム及びシステム、及び、三次元物体を分類するための方法、コンピュータプログラム及びシステム

(57) 【要約】

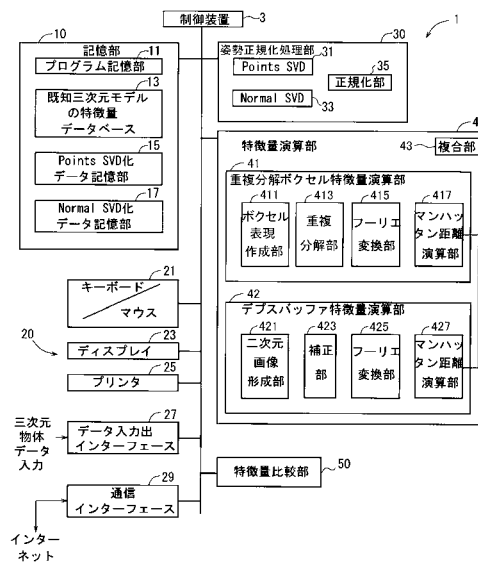
【課題】

多量のデータによる事前の学習を必要とすることなく、高い精度で三次元データの検索を行い得る装置及び方法を提供する。

【解決手段】

三次元物体から作成したボクセル表現内の複数のボクセルを所定のウィンドウにより順次複数のボクセル部分として抽出する。二番目以降に抽出するボクセル部分は先に抽出した何れかのボクセル部分の一部のボクセルと重複させる。ボクセル部分ごとに三次元フーリエ変換を適用して求めた複数のスペクトルから第1特徴量を求める。三次元物体を奥行バッファ法により二次元画像に投影し、二次元画像の中心から離れるに従って画素の濃淡が強調されるようにする。二次元画像に二次元フーリエ変換を適用して求めたスペクトルから第2特徴量を求める。第1特徴量と第2特徴量を複合して特徴量を求め、予め得られた三次元物体モデルの特徴量と比較し、三次元物体と三次元物体モデルとの類似度を判断する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

三次元物体に類似した三次元物体モデルを検索する三次元物体モデルの検索方法であって、

前記三次元物体からボクセル表現を作成するステップと、

前記ボクセル表現の一部を構成する複数のボクセルであって、所定の大きさの三次元的なウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、続いて、前記ウィンドウを所定の方向へ所定の距離だけ移動させて、前記ウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、以下同様に複数のボクセル部分を抽出し、二番目以降に抽出するボクセル部分が先に抽出したいずれかのボクセル部分の一部のボクセルと重複するように順次抽出することにより、前記ボクセル表現を重複分解するステップと、
前記ボクセル部分ごとに三次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めるステップと

10

、
前記複数のボクセル部分の複数のスペクトルから、前記三次元物体の第 1 特徴量を求めるステップと、

前記三次元物体を奥行パツファ法により投影した二次元画像であって、該二次元画像の中心から離れるに従って画素の濃淡が強調されるように投影した該二次元画像に対して二次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めることにより、前記三次元物体の第 2 特徴量を求めるステップと、

前記第 1 特徴量と前記第 2 特徴量を複合することにより前記三次元物体の特徴量を求めるステップと、

20

前記三次元物体の特徴量と、予め得られた前記三次元物体モデルの特徴量とを比較することにより、前記三次元物体と前記三次元物体モデルとの類似度を判断するステップと、を有する検索方法。

【請求項 2】

前記類似度を判断するステップは、前記三次元物体の特徴量と、予め得られた複数の前記三次元物体モデルの特徴量とを比較することにより、前記三次元物体と複数の前記三次元物体モデルとの類似度を判断し、

前記類似度が高い順に、複数の前記三次元物体モデルを順位付けするステップを更に有する、請求項 1 に記載の検索方法。

30

【請求項 3】

前記ボクセル表現を作成するステップは、前記三次元物体の三次元物体モデルに対して複数の姿勢正規化処理を行う、請求項 1 又は 2 に記載の検索方法。

【請求項 4】

前記姿勢正規化処理は前記三次元物体モデルを構成する三角面上にランダムな点を生成し、それを質点として主成分分析を行ない、主軸を求めて正規化を行なう第 1 の姿勢正規化処理と、前記三次元物体モデルの面上に生成したランダムな点と、それに近い三角形の 2 点との法線の分布をもとに主軸を求めて正規化を行なう第 2 の姿勢正規化処理とを含む、請求項 3 に記載の検索方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法をコンピュータに実行させるコンピュータプログラム。

40

【請求項 6】

三次元物体を、予め用意した複数のカテゴリーの何れかに分類するための分類方法であって、

前記三次元物体からボクセル表現を作成するステップと、

前記ボクセル表現の一部を構成する複数のボクセルであって、所定の大きさの三次元的なウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、続いて、前記ウィンドウを所定の方向へ所定の距離だけ移動させて、前記ウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、以下同様に複数のボクセル部分を抽出し、二番目以降に抽出するボクセル部分が先に抽出したいずれかのボクセル部分の一部のボクセルと

50

重複するように順次抽出することにより、前記ボクセル表現を重複分解するステップと、
前記ボクセル部分ごとに三次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めるステップと

、
該複数のボクセル部分の複数のスペクトルから、前記三次元物体の第1特徴量を求める
ステップと、

前記三次元物体を奥行バッファ法により投影した二次元画像であって、該二次元画像の
中心から離れるに従って画素の濃淡が強調されるように投影した該二次元画像に対して二
次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めることにより、前記三次元物体の第2特徴
量を求めるステップと、

前記第1特徴量と前記第2特徴量を複合することにより前記三次元物体の特徴量を求め
るステップと、

前記三次元物体の特徴量と、前記複数のカテゴリにそれぞれ予め付与された特徴量と
を比較することにより、前記三次元物体を前記複数のカテゴリのうち最も特徴量が類似
するカテゴリに分類するステップと、を含む分類方法。

【請求項7】

前記ボクセル表現を作成するステップは、前記三次元物体の三次元物体モデルに対して
複数の姿勢正規化処理を行う、請求項6に記載の分類方法。

【請求項8】

前記姿勢正規化処理は前記三次元物体モデルを構成する三角面上にランダムな点を生成
し、それを質点として主成分分析を行ない、主軸を求めて正規化を行なう第1の姿勢正規
化処理と、前記三次元物体モデルの面上に生成したランダムな点と、それに近い三角形の
2点との法線の分布をもとに主軸を求めて正規化を行なう第2の姿勢正規化処理とを含む
、請求項7に記載の分類方法。

【請求項9】

請求項6に記載の方法をコンピュータに実行させるコンピュータプログラム。

【請求項10】

三次元物体に類似した三次元物体モデルを検索する三次元物体モデルの検索システムで
あって、

前記三次元物体からボクセル表現を作成する手段と、

前記ボクセル表現の一部を構成する複数のボクセルであって、所定の大きさの三次元的
なウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、続いて、前記ウ
ィンドウを所定の方向へ所定の距離だけ移動させて、前記ウィンドウ内に存在する複数の
ボクセルをボクセル部分として抽出し、以下同様に複数のボクセル部分を抽出し、二番目
以降に抽出するボクセル部分が先に抽出したいずれかのボクセル部分の一部のボクセルと
重複するように順次抽出することにより、前記ボクセル表現を重複分解する手段と、

前記ボクセル部分ごとに三次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求める手段と、

該複数のボクセル部分の複数のスペクトルから、前記三次元物体の第1特徴量を求める
手段と、

前記三次元物体を奥行バッファ法により投影した二次元画像であって、該二次元画像の
中心から離れるに従って画素の濃淡が強調されるように投影した該二次元画像に対して二
次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めることにより、前記三次元物体の第2特徴
量を求める手段と、

前記第1特徴量と前記第2特徴量を複合することにより前記三次元物体の特徴量を求め
る手段と、

前記三次元物体の特徴量と、予め得られた前記三次元物体モデルの特徴量とを比較する
ことにより、前記三次元物体と前記三次元物体モデルとの類似度を判断する手段と、を有
する検索システム。

【請求項11】

前記類似度を判断する手段は、前記三次元物体の特徴量と、予め得られた複数の前記三
次元物体モデルの特徴量とを比較することにより、前記三次元物体と複数の前記三次元物

10

20

30

40

50

体モデルとの類似度を判断し、

前記類似度が高い順に、複数の前記三次元物体モデルを順位付けする手段を更に有する、請求項 10 に記載の検索システム。

【請求項 12】

前記ボクセル表現を作成する手段は、前記三次元物体の三次元物体モデルに対して複数の姿勢正規化処理を行う、請求項 10 又は 11 に記載の検索システム。

【請求項 13】

前記姿勢正規化処理は前記三次元物体モデルを構成する三角面上にランダムな点を生成し、それを質点として主成分分析を行ない、主軸を求めて正規化を行なう第 1 の姿勢正規化処理と、前記三次元物体モデルの面上に生成したランダムな点と、それに近い三角形の 2 点との法線の分布をもとに主軸を求めて正規化を行なう第 2 の姿勢正規化処理とを含む、請求項 13 に記載の検索システム。

10

【請求項 14】

三次元物体を、予め用意した複数のカテゴリーの何れかに分類するための分類システムであって、

前記三次元物体からボクセル表現を作成する手段と、

前記ボクセル表現の一部を構成する複数のボクセルであって、所定の大きさの三次元的なウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、続いて、前記ウィンドウを所定の方向へ所定の距離だけ移動させて、前記ウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、以下同様に複数のボクセル部分を抽出し、二番目以降に抽出するボクセル部分が先に抽出したいずれかのボクセル部分の一部のボクセルと重複するように順次抽出することにより、前記ボクセル表現を重複分解する手段と、

20

前記ボクセル部分ごとに三次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求める手段と、

該複数のボクセル部分の複数のスペクトルから、前記三次元物体の第 1 特徴量を求める手段と、

前記三次元物体を奥行バッファ法により投影した二次元画像であって、該二次元画像の中心から離れるに従って画素の濃淡が強調されるように投影した該二次元画像に対して二次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めることにより、前記三次元物体の第 2 特徴量を求める手段と、

前記第 1 特徴量と前記第 2 特徴量を複合することにより前記三次元物体の特徴量を求める手段と、

30

前記三次元物体の特徴量と、前記複数のカテゴリーにそれぞれ予め付与された特徴量とを比較することにより、前記三次元物体を前記複数のカテゴリーのうち最も特徴量が類似するカテゴリーに分類する手段と、を含む分類システム。

【請求項 15】

前記ボクセル表現を作成する手段は、前記三次元物体の三次元物体モデルに対して複数の姿勢正規化処理を行う、請求項 14 に記載の分類システム。

【請求項 16】

前記姿勢正規化処理は前記三次元物体モデルを構成する三角面上にランダムな点を生成し、それを質点として主成分分析を行ない、主軸を求めて正規化を行なう第 1 の姿勢正規化処理と、前記三次元物体モデルの面上に生成したランダムな点と、それに近い三角形の 2 点との法線の分布をもとに主軸を求めて正規化を行なう第 2 の姿勢正規化処理とを含む、請求項 15 に記載の分類システム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、三次元物体モデルを検索するための方法、コンピュータプログラム及びシステム、及び、三次元物体を分類するための方法、コンピュータプログラム及びシステムに関するものである。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

三次元物体モデルの検索方法として各種の方法が知られている。

D2: D2はOsadaらの研究(非特許文献1)で最も高い検索精度を得た特徴量である。三次元物体の面上にランダムな点群を生成し、全2点間のユークリッド距離の頻度を示すヒストグラムを特徴量とする。特徴量間の距離は、求めたヒストグラムを一次元ベクトルと考えて計算したマンハッタン距離である。

Spherical Harmonics Descriptor (SHD): SHDはKazhdanらにより提案された手法である(非特許文献2)。ボクセル化した三次元物体を球面調和関数変換し、得られたパワースペクトルの低周波部分を特徴量とする。特徴量間の距離は、求めたパワースペクトルを1次元ベクトルと考えて計算したユークリッド距離である。

Light Field Descriptor (LFD): LFDはChenらにより提案された手法である(非特許文献3参照)。12面体の頂点を視点とし、それを回転させながら、多数の視点から三次元物体のシルエット画像を生成する。生成したシルエット画像のツェルニケモーメントとフーリエスペクトルを計算し特徴量とする。特徴量間の距離は、12面体の各頂点と全ての回転における組み合わせで最小L1距離を計算したものである。

Hybrid Descriptor (DSR472): DSR472はVranicの研究で最も高い検索精度を得た特徴量である(非特許文献4参照)。Vranicが考案した、デプスバッファ特徴ベクトル、シルエット特徴ベクトル、重心から任意の方向にベクトルを放つことで得られるRay特徴ベクトルの3つを組み合わせた特徴量である。特徴量間の距離は、複合特徴量を一次元ベクトルと考えてマンハッタン距離を計算したものである。

MFSD (Multi-Fourier Spectra Descriptor): MFSDは本発明の発明者らが提案した手法である(特許文献1参照)。MFSDは、Depth Buffer画像・シルエット画像・輪郭画像・ボクセル表現の四種類の形状表現から求めたフーリエスペクトルからなる特徴量である。それまでで最も検索精度が高いといわれていたDSR472法を凌駕する検索手法として提案したものである。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 3 】

【 特許文献 1 】 特許第 5 0 2 4 7 6 7 号 公 報

【 特許文献 2 】 特願 2 0 1 0 - 1 3 4 5 8 9 号

【 非特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 非特許文献 1 】 R.Osada, T.Funkhouser, B.Chazelle, D.Dobkin, Shape Distributions, ACM, TOG, 21(4), pp.807-832, 2002.

【 非特許文献 2 】 M.Kazhdan, T.Funkhouser, S.Rusinkiewicz, Rotation Invariant Spherical Harmonic Representation of 3D Shape Descriptors, Proc.Eurographics, ACM SIGGRAPH Symp.on Geometry Processing, pp.156-164, 2003.

【 非特許文献 3 】 D.-Y.Chen, X.-P.Tian, Y.-T.Shen, M.Ouhyoung, On Visual Similarity Based 3D Model Retrieval, Computer Graphics Forum, 22(3), pp.223-232, 2003.

【 非特許文献 4 】 D.Vranic, 3D Model Retrieval, Ph.D.thesis, University of Leipzig, 2004.

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

上記のMFSDは、四種類の形状表現から特徴量を求めることにより、DSR472法を凌駕する検索精度を達成することができた。しかしながら、特徴量を求める場合に、データが肥大化するという問題があった。この問題の解決策として本発明者らは、LDP(線形拡散射影)法を提案している(特許文献2参照)。しかしながら、このLDP法は検索時に扱うデータ量を削減できるものの、多量のデータによる事前学習を必要とする点で、なお改善の余地があった。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

本発明は前記問題を解決するためになされたものであって、その目的は、多量のデータによる事前の学習を必要とすることなく、高い精度で三次元物体モデルの検索を行い得る方法及びシステム、及び、高い精度で三次元物体の分類を行い得る方法及びシステムを提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

本発明者らは前記課題を解決するために鋭意検討を重ねた結果、下記のように本発明の各局面に想到した。

【 0 0 0 8 】

即ち、本発明の第 1 の局面による三次元物体に類似した三次元物体モデルを検索する三次元物体モデルの検索方法は、

前記三次元物体からボクセル表現を作成するステップと、

前記ボクセル表現の一部を構成する複数のボクセルであって、所定の大きさの三次元的なウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、続いて、前記ウィンドウを所定の方向へ所定の距離だけ移動させて、前記ウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、以下同様に複数のボクセル部分を抽出し、二番目に降に抽出するボクセル部分が先に抽出したいずれかのボクセル部分の一部のボクセルと重複するように順次抽出することにより、前記ボクセル表現を重複分解するステップと、

前記ボクセル部分ごとに三次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めるステップと

、
前記複数のボクセル部分の複数のスペクトルから、前記三次元物体の第 1 特徴量を求めるステップと、

前記三次元物体を奥行バッファ法により投影した二次元画像であって、該二次元画像の中心から離れるに従って画素の濃淡が強調されるように投影した該二次元画像に対して二次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めることにより、前記三次元物体の第 2 特徴量を求めるステップと、

前記第 1 特徴量と前記第 2 特徴量を複合することにより前記三次元物体の特徴量を求めるステップと、

前記三次元物体の特徴量と、予め得られた前記三次元物体モデルの特徴量とを比較することにより、前記三次元物体と前記三次元物体モデルとの類似度を判断するステップと、を有する検索方法である。

【 0 0 0 9 】

このような構成の検索方法は、M F S Dでは用いていたシルエット特徴量及び輪郭特徴量を用いないため、M F S Dよりも検索用のインデックスがコンパクトである。しかも、L D Pのような事前学習の必要もないという利点を有する。また、ボクセル表現を各ボクセル部分に重複分解することで、ボクセル部分間をまたぐ形状の連続的变化を捉えることができ、三次元物体の輪郭等の形状をより詳細かつ高精度に把握することが可能となる。更には、重複分解したボクセル部分ごとに計算したフーリエスペクトルを特徴量として用いるため、三次元物体の外見的な形状的特徴だけでなく、三次元空間中にどのような形状がどこにあるかという空間的特徴をもより高精度に捉えることが可能となる。そのため、後に詳述する本発明者らの行った検証実験においても示されているように、本願発明による検索方法の検索精度はM F S Dより高く、L D Pと同等またはそれ以上である。

【 0 0 1 0 】

本発明の第 2 の局面によれば、前記類似度を判断するステップは、前記三次元物体の特徴量と、予め得られた複数の前記三次元物体モデルの特徴量とを比較することにより、前記三次元物体と複数の前記三次元物体モデルとの類似度を判断し、検索方法は、前記類似度が高い順に、複数の前記三次元物体モデルを順位付けするステップを更に有する。

このような構成によれば、検索対象としての三次元物体と類似度の高いものから順に複数の三次元物体モデルに対して順位付けを行うことができ、ユーザは、この順位情報を考

10

20

30

40

50

慮に入れた上で検索結果を考察し、利用することができるので利便性が高い。

【 0 0 1 1 】

本発明の第 3 の局面によれば、前記ボクセル表現を作成するステップは、前記三次元物体の三次元物体モデルに対して複数の姿勢正規化処理（即ち、複数の正対化処理）を行う。

このような構成とすることで、三次元物体モデルの位置や向きが製作者やツール等によって異なる場合であっても、検索精度の低下を防止することができる。また、複数の姿勢正規化処理を行うことで、より好適な姿勢正規化処理結果を用いることができる。

【 0 0 1 2 】

本発明の第 4 の局面によれば、前記姿勢正規化処理は前記三次元物体モデルを構成する三角面上にランダムな点を生成し、それを質点として主成分分析を行ない、主軸を求めて正規化を行なう第 1 の姿勢正規化処理と、前記三次元物体モデルの面上に生成したランダムな点と、それに近い三角形の 2 点との法線の分布をもとに主軸を求めて正規化を行なう第 2 の姿勢正規化処理とを含む。このような構成によれば、好適な姿勢正規化処理を行うことができる。

【 0 0 1 3 】

本発明の第 5 の局面による三次元物体を、予め用意した複数のカテゴリーの何れかに分類するための分類方法は、

前記三次元物体からボクセル表現を作成するステップと、

前記ボクセル表現の一部を構成する複数のボクセルであって、所定の大きさの三次元的なウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、続いて、前記ウィンドウを所定の方向へ所定の距離だけ移動させて、前記ウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、以下同様に複数のボクセル部分を抽出し、二番目以降に抽出するボクセル部分が先に抽出したいずれかのボクセル部分の一部のボクセルと重複するように順次抽出することにより、前記ボクセル表現を重複分解するステップと、
前記ボクセル部分ごとに三次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めるステップと

、
該複数のボクセル部分の複数のスペクトルから、前記三次元物体の第 1 特徴量を求めるステップと、

前記三次元物体を奥行パツファ法により投影した二次元画像であって、該二次元画像の中心から離れるに従って画素の濃淡が強調されるように投影した該二次元画像に対して二次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めることにより、前記三次元物体の第 2 特徴量を求めるステップと、

前記第 1 特徴量と前記第 2 特徴量を複合することにより前記三次元物体の特徴量を求めるステップと、

前記三次元物体の特徴量と、前記複数のカテゴリーにそれぞれ予め付与された特徴量とを比較することにより、前記三次元物体を前記複数のカテゴリーのうち最も特徴量が類似するカテゴリーに分類するステップと、を含む分類方法である。

【 0 0 1 4 】

このような構成の分類方法によれば、第 1 の局面について述べた理由と同様の理由により、三次元物体の分類用のインデックスがコンパクトであり、しかも分類の精度が高いという利点を有する。

【 0 0 1 5 】

本発明の第 6 の局面による三次元物体に類似した三次元物体モデルを検索する三次元物体モデルの検索システムは、

前記三次元物体からボクセル表現を作成する手段と、

前記ボクセル表現の一部を構成する複数のボクセルであって、所定の大きさの三次元的なウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、続いて、前記ウィンドウを所定の方向へ所定の距離だけ移動させて、前記ウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、以下同様に複数のボクセル部分を抽出し、二番目

10

20

30

40

50

以降に抽出するボクセル部分が先に抽出したいいずれかのボクセル部分の一部のボクセルと重複するように順次抽出することにより、前記ボクセル表現を重複分解する手段と、

前記ボクセル部分ごとに三次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求める手段と、

該複数のボクセル部分の複数のスペクトルから、前記三次元物体の第1特徴量を求める手段と、

前記三次元物体を奥行バッファ法により投影した二次元画像であって、該二次元画像の中心から離れるに従って画素の濃淡が強調されるように投影した該二次元画像に対して二次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めることにより、前記三次元物体の第2特徴量を求める手段と、

前記第1特徴量と前記第2特徴量を複合することにより前記三次元物体の特徴量を求める手段と、

前記三次元物体の特徴量と、予め得られた前記三次元物体モデルの特徴量とを比較することにより、前記三次元物体と前記三次元物体モデルとの類似度を判断する手段と、を有する検索システムである。

このような構成の検索システムは、前記第1の局面による検索方法と同様の利点を有する。

【0016】

本発明の第7の局面による三次元物体を、予め用意した複数のカテゴリーの何れかに分類するための分類システムは、

前記三次元物体からボクセル表現を作成する手段と、

前記ボクセル表現の一部を構成する複数のボクセルであって、所定の大きさの三次元的なウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、続いて、前記ウィンドウを所定の方向へ所定の距離だけ移動させて、前記ウィンドウ内に存在する複数のボクセルをボクセル部分として抽出し、以下同様に複数のボクセル部分を抽出し、二番目以降に抽出するボクセル部分が先に抽出したいいずれかのボクセル部分の一部のボクセルと重複するように順次抽出することにより、前記ボクセル表現を重複分解する手段と、

前記ボクセル部分ごとに三次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求める手段と、

該複数のボクセル部分の複数のスペクトルから、前記三次元物体の第1特徴量を求める手段と、

前記三次元物体を奥行バッファ法により投影した二次元画像であって、該二次元画像の中心から離れるに従って画素の濃淡が強調されるように投影した該二次元画像に対して二次元フーリエ変換を適用してスペクトルを求めることにより、前記三次元物体の第2特徴量を求める手段と、

前記第1特徴量と前記第2特徴量を複合することにより前記三次元物体の特徴量を求める手段と、

前記三次元物体の特徴量と、前記複数のカテゴリーにそれぞれ予め付与された特徴量とを比較することにより、前記三次元物体を前記複数のカテゴリーのうち最も特徴量が類似するカテゴリーに分類する手段と、を含む分類システムである。

このような構成の分類システムは、前記第5の局面による分類方法と同様の利点を有する。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、本発明の第1実施形態による検索システムを示すブロック図である。

【図2】図2は、ポイントSVDにおける鏡像が異なる例を示す図である。

【図3】図3は、ノーマルSVDにおける演算原理を示す図である。

【図4】図4は、ボクセル表現の例を示す図である。

【図5】図5は、ボクセルの重複分解の概念を示す図である。

【図6】図6は、ボクセルの重複分解を行う場合と行わない場合の比較図である。

【図7】図7は、デブスバッファ画像の例を示す図である。

【図8】図8は、周辺輝度強調により補正されたデブスバッファ画像(PEI画像)の例を示

10

20

30

40

50

す図である。

【図 9】図 9 は、周辺輝度強調により補正されたデプスバッファ画像を極座標変換した画像である。

【図 10】図 10 は、第 1 実施形態による検索システムの効果を示すグラフである。

【図 11】図 11 は、第 1 実施形態による検索システムの効果を示す別のグラフである。

【図 12】図 12 は、本発明の第 2 実施形態による分類システムを示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

(第 1 実施形態)

次に、本発明を具体化した第 1 実施形態に係る三次元物体モデルを検索するための検索システム 1 について、図面を参照しながら説明する。

図 1 は本実施形態の検索システム 1 の構成を示すブロック図である。検索システム 1 は汎用的なコンピュータ装置からなり、その機能をブロックで表すと図 1 のようになる。即ち、本実施形態の検索システム 1 は制御装置 3、記憶部 10、入出力部 20、姿勢正規化処理部 30、特徴量演算部 40 及び特徴量比較部 50 から構成される。

【0019】

制御装置 3 は記憶部 10 のプログラム記憶部 11 から制御用プログラムを読み出して、このプログラムにしたがって各要素を制御する。記憶部 10 の既知三次元物体モデルの特徴量データベース 13 には、以下に説明する方法で特徴量の演算された三次元物体モデルがその特徴量とともに保存されている。三次元物体モデルは後述する姿勢正規化処理（即ち、正対化処理）が施され、かつ正規化されている。

記憶部 10 は更に、ポイント SVD (Point SVD) 化データ記憶部 15、及び、ノーマル SVD (Normal SVD) 化データ記憶部 17 を有する。

【0020】

入出力部 20 はキーボード/マウス 21、ディスプレイ 23、プリンタ 25、データ入出力インターフェース 27 及び通信インターフェース 29 を備えている。検索対象である三次元物体のデータ（即ち、モデル化された三次元物体）はデータ入出力インターフェース 27 からシステム内に取り込むことができる。通信インターフェース 29 はシステムをインターネットへ接続する。

【0021】

姿勢正規化処理部 30 は、検索対象である三次元物体を姿勢正規化処理し、更に大きさをそろえるために正規化する。姿勢正規化処理部 30 にはポイント SVD 部 31 とノーマル SVD 部 33 があり、それぞれ異なる手法で三次元物体のデータを姿勢正規化処理する。正規化部 35 は三次元物体の大きさの任意性を解決するものである。

ポイント SVD 部 31 で姿勢正規化されかつ正規化部 35 で正規化された三次元物体のデータは記憶部 10 のポイント SVD 化データ記憶部 15 に一時保存され、ノーマル SVD 部 33 で姿勢正規化されかつ正規化部 35 で正規化された三次元物体のデータは記憶部 10 のノーマル SVD 化データ記憶部 17 に一時保存される。

【0022】

以下、ポイント SVD について詳細に説明する。

ポイント SVD では、三次元物体モデル（又はモデル化された三次元物体）を構成する三角面上にランダムな点を生成する。これには、Osada らの手法を用いる (R.Osada, T.Funke, B.Chazelle, D.Dobkin, Shape Distributions, ACM, TOG, 21(4), pp.807-832, 2002.)。生成する点の座標を、三角面の頂点の座標 ABC と擬似乱数 r_1 、 r_2 を用いて、下記式 1 で決める。

【数 1】

$$(1 - \sqrt{r_1})A + \sqrt{r_1}(1 - r_2)B + \sqrt{r_1}r_2C \quad (1)$$

本実施形態では擬似乱数にメルセンヌ Twister 乱数を用いた。また、生成する点群数は

10

20

30

40

50

全体で L 個とする (L は十分に大きい数とする)。実施例では $L=32768$ 個である。こうして生成された点群より三次元物体モデルの重心を求める。重心 m_I が原点となるよう平行移動することで、位置の任意性の問題を解決する。実施例での点群データ行列は以下の式で表現される。

【数 2】

$$m_I = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L p_i$$

$$P = \begin{pmatrix} p_{x1} - m_{I_x} & p_{x2} - m_{I_x} & \dots & p_{xn} - m_{I_x} \\ p_{y1} - m_{I_y} & p_{y2} - m_{I_y} & \dots & p_{yn} - m_{I_y} \\ p_{z1} - m_{I_z} & p_{z2} - m_{I_z} & \dots & p_{zn} - m_{I_z} \end{pmatrix} \quad 10$$

次に、点群行列 P を特異値分解することで回転行列 R を得る。

【数 3】

$$P = U D \Sigma^T$$

$$R = U^T$$

【0 0 2 3】

回転行列 R により、点群を回転させる。これにより、主軸が三次元空間の x 軸・ y 軸・ z 軸に沿うような回転をする。 20

【数 4】

$$P' = R P$$

最後に、三次元物体モデルの鏡像を決める。軸が同じになっても、鏡像が異なれば特徴量は変化してしまう (図 2 参照)。

モデルの鏡像行列 F は、 L 個 (実施例では、 $L=32768$ 個) の点群の場合、以下のように計算する。

【数 5】

$$f_x = \sum_{i=0}^L \text{sign}(p'_{x_i}) |p'_{x_i}|^2 \quad (f_y, f_z \text{ similar}) \quad 30$$

$$F = \begin{pmatrix} \text{sign}(f_x) & 0 & 0 \\ 0 & \text{sign}(f_y) & 0 \\ 0 & 0 & \text{sign}(f_z) \end{pmatrix}$$

以上の計算により求めた重心 m_I 、回転行列 R 、鏡像行列 F により、モデル頂点 V を平行移動・回転させて姿勢正規化を完成する。

【数 6】

$$V = \begin{pmatrix} v_{x1} - m_{I_x} & v_{x2} - m_{I_x} & \dots & v_{xn} - m_{I_x} \\ v_{y1} - m_{I_y} & v_{y2} - m_{I_y} & \dots & v_{yn} - m_{I_y} \\ v_{z1} - m_{I_z} & v_{z2} - m_{I_z} & \dots & v_{zn} - m_{I_z} \end{pmatrix} \quad 40$$

$$V' = F R V$$

【0 0 2 4】

ポイント SVD と同様の姿勢正規化手法が Ohbuchi らにより提案されている (R. Ohbuchi, T. Otagiri, M. Ibatto, T. Takei, Shape-Similarity Search of Three-Dimensional Models Using Parameterized Statistics. Proc. Pacific Graphics 2002, pp.265-274.2002) 50

。違いは、点群生成時に準乱数のSobol乱数を用いることと、鏡像の決定に中心からの距離を用いていることである。

【 0 0 2 5 】

次に、ノーマルSVDについて詳細に説明する。

基本的な計算方法はポイントSVDと同様である。ノーマルSVDでは点群を生成するときに、生成した点と元になった三角形の頂点の最も近い2点との法線を質点として計算する(図3)

まず、法線ベクトル n の平均を求める。L個(実施例では、L=32768個)での法線ベクトルの平均は以下のように求める。

【数7】

$$\mathbf{m}_N = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \mathbf{n}_i$$

次に法線ベクトル行列Nを特異値分解し、回転行列Rを求める。

【数8】

$$N = \begin{pmatrix} n_{x1} - m_{N_x} & n_{x2} - m_{N_x} & \dots & n_{xn} - m_{N_x} \\ n_{y1} - m_{N_y} & n_{y2} - m_{N_y} & \dots & n_{yn} - m_{N_y} \\ n_{z1} - m_{N_z} & n_{z2} - m_{N_z} & \dots & n_{zn} - m_{N_z} \end{pmatrix}$$

$$N = U D \Sigma^T$$

$$R = U^T$$

【 0 0 2 6 】

最後に、回転させた点群を元に、ポイントSVDと同様にして鏡像決定行列Fを計算する。

【数9】

$$V' = FRV$$

以上により、姿勢正規化は完了する。頂点行列Vの定義はポイントSVDと同様である。

【 0 0 2 7 】

このようにして姿勢正規化された各モデルはBounding Sphere法により正規化される。

ここに、Bounding Sphere法は、半径1の単位球であり、これに姿勢正規化された検索対象の三次元物体モデルが収まるようにする。具体的な計算方法としては、三次元物体モデルの全頂点と重心との距離の最大値で各頂点の座標値を割る。

【 0 0 2 8 】

このように2種類の姿勢正規化法を用いる理由は以下の通りである。即ち、凹凸の多い物体の姿勢正規化に有効とされるPoint SVDと、角張った形状の姿勢正規化に有効とされるNormal SVDとを備えることで、より多様な三次元物体の姿勢正規化に対応でき、頑強性が高められるからである。

【 0 0 2 9 】

特徴量演算部40は、重複分解ボクセル特徴量演算部41、デプスバッファ特徴量演算部42及び複合部43を備えてなる。

最初に、重複分解ボクセル特徴量演算部41のボクセル表現作成部411が、姿勢正規化処理部30にて姿勢正規化及び正規化を経た三次元物体のデータからボクセル表現を作成する。ボクセル表現とは例えば図4のように、三次元物体を立方体の集合で表したものである。本実施形態のボクセル表現作成部411においては、三次元物体の面上にランダムな点群を生成し、それらを $M \times M \times M$ の空間に量子化することで、三次元物体をボクセル表現に変換する。このとき、ボクセル表現の非0要素の値は、ボクセル空間の中心から

10

20

30

40

50

のユークリッド距離とする。すなわち、すべてのボクセルは0または正の実数値をとることを意味する。実施例では、 $M = 64$ とした。

【0030】

次に、三次元物体から生成したボクセル表現を、重複分解部413において、一定の大きさを有する三次元のウィンドウにて重複的に抽出し、各々を「ボクセル部分」として抽出する。

ボクセルの重複的な抽出について詳述すると、三次元的なウィンドウの寸法（即ち三次元空間に占める大きさ）は、ウィンドウ内に一度に複数のボクセルが含まれ得るように設定される。そして、ウィンドウを $M \times M \times M$ の空間内で三次元物体のボクセル表現に重ね合わせ、ウィンドウ内に存在する複数のボクセルを一つのボクセル部分として抽出する。

【0031】

次に、前記空間内で、ウィンドウを所定方向に所定の距離だけ移動させる。そして、ウィンドウ内に存在する複数のボクセルを、別のボクセル部分として抽出する。このように、ウィンドウを移動させながら、順次、ボクセル部分を抽出していく。その際、二番目以降に抽出されるボクセル部分と先に抽出されたボクセル部分との間で、一部のボクセルが重複するように、即ち、共通のボクセルを含むように、抽出する。ただし、ボクセル部分同士が完全一致しないようにする。このように、ボクセル表現を、複数のボクセル部分であって、それらの一部のボクセルが重複するような複数のボクセル部分として抽出することを、「ボクセル表現を重複分解する」と呼ぶこととする。

【0032】

ボクセル表現の重複分解について、図5の例により説明する。図5の例では、分かりやすさのため、ボクセル空間を二次元で表現している。この例では、ボクセル空間が64個 \times 64個のボクセルからなり、ウィンドウの大きさは32個 \times 32個のボクセルに相当する。まず図5(A)において32個 \times 32個のボクセルを第1番目のボクセル部分として抽出する。次に、図5(B)のように、ウィンドウを16個のボクセルに相当する距離だけ右方向に移動させ、その場所においてウィンドウに囲まれる32個 \times 32個のボクセルを第2番目のボクセル部分として抽出する。図5(A)、5(B)より、第1番目のボクセル部分と第2番目のボクセル部分とは、全体として同一ではないが、その一部のボクセルが重複していることが分かる。

【0033】

そして更に図5(B)から図5(C)へは、同じくウィンドウを16個のボクセルに相当する距離だけ右方向に移動させる。図5(C)から図5(D)へは、32個のボクセルに相当する距離の左方向への移動と、16個のボクセルに相当する距離の下方方向への移動を合わせた移動を行っている。そして更に順次、図5(E)～(I)のようにウィンドウを右方向、左斜め下方方向、右方向、・・・というように所定の方向に所定の距離ずつずらしていきながら、ボクセル空間の全体を、一部が重複し合う複数のボクセル部分として抽出していく（即ち、重複分解する）。このように複数のボクセル部分を、その一部が重複し合うように抽出することで、データの冗長さを犠牲にしつつも、特徴量の連続的変化を高精度に捉えることが可能となる。

【0034】

なお、ウィンドウを「所定の方向」に「所定の距離」だけ移動させるという場合、それら「所定の方向」と「所定の距離」は終始一定のものには限られず、所定の取り決めに従って、途中で別の方向や異なる距離に切り替えられるものとして良い。例えば、ウィンドウが $M \times M \times M$ の空間の端まで進んだ場合には、 $M \times M \times M$ の空間の逆の端に戻り、そこから、既にボクセルを抽出した範囲と一部重複するようにボクセルの抽出を継続するようにしても良い。あるいは、到達した端から折り返して、既にボクセルを抽出した範囲と一部重複するように抽出を継続するようにしても良い。その他、「所定の方向」及び「所定の距離」についての取り決めは、 $M \times M \times M$ の空間内においてウィンドウを移動させ得る限り、任意のものを採用することができる。

【0035】

10

20

30

40

50

ボクセル空間を、単に複数のボクセル部分に分解するのではなく、重複させて分解するのは、ボクセル部分をまたぐ形状の連続的变化を捉えるためである。図6は、重複分解を行う場合(A)と行わない場合(B)とで、捉えられる形状的特徴の違いを表したものである。重複分解を行う場合(A)では、中央の円形を捉えることができるが、重複分解を行わない場合(B)では、この円形は分断され、中央に円形があるという情報は、特徴量に反映されない。

【0036】

次に、抽出したボクセル部分ごとに、次式によりフーリエ変換部415にてパワースペクトルを得る。

【数10】

$$g_{p,q,r} = \sum_{x,y,z} \text{Cell}(x,y,z) \times \exp \left\{ -j2\pi \left(\frac{xp}{N} + \frac{yq}{N} + \frac{zr}{N} \right) \right\}$$

ここでは、各ボクセル部分の大きさを $N \times N \times N$ とした。Nはボクセルの数を表す。また、 $1 \leq p, q, r \leq N$ である。フーリエスペクトルの高周波成分には、形状の詳細情報やノイズが現れる。そこで、類似検索のため、本実施形態では、 $1 \leq p, q, r \leq B$ の低周波数成分 f_{cell} を用いる。実施例では、 $B = 8$ とした。

【数11】

$$\mathbf{f}_{cell} = (f_1, f_2, \dots, f_{CMAX}) = (\|g_{1,1,1}\|, \|g_{1,1,2}\|, \dots, \|g_{B,B,B}\|)$$

結局全体は $B^3 = C_{MAX}$ 次元となる。実施例では、 $C_{MAX} = 512 (= 8^3)$ となる。

次に、ボクセル部分から計算したフーリエスペクトルの低周波成分を、全体総和で正規化する。

【数12】

$$f_n = \sum_i f_i \quad \bar{\mathbf{f}}_{cell} = \left(\frac{f_1}{f_n}, \frac{f_2}{f_n}, \dots, \frac{f_{CMAX}}{f_n} \right)$$

これらボクセル部分ごとに求めたフーリエスペクトルを並べたものが、重複分解ボクセル特徴量 f_{DVD} であり、高密度ボクセルスペクトル記述子 (Dense Voxel Spectrum Descriptor: DVD) とも呼ぶこととする。実施例では、 $DVD_MAX = 27$ とした。

【数13】

$$\mathbf{f}_{DVD} = \left(\overset{-(1)}{\mathbf{f}_{cell}}, \overset{-(2)}{\mathbf{f}_{cell}}, \dots, \overset{-(DVD_MAX)}{\mathbf{f}_{cell}} \right)$$

【0037】

重複分解ボクセル特徴量 f_{DVD} は、ボクセル空間を、所定の大きさの複数のボクセル部分に重複分解し、ボクセル部分ごとに計算したフーリエスペクトルを並べたものである。そのため、このままでは、重複分解ボクセル特徴量 f_{DVD} の次元数は、 $((M - N) / T + 1)^3 \times B^3$ となり、実施例の数字 (実施例では、 $T = 16$ 、 $N = 32$ とする) を代入すると、 $13,824$ 次元と大きなものになってしまう。そこで、各ボクセル部分から計算した、低周波数成分のフーリエスペクトル $B^3 = 8^3 = C_{MAX} = 512$ 次元を、主成分分析により、K次元に削減する。実施例では、上位主成分で、寄与率の高かった次元として、 $K = 20$ とした。その後、次元削減したフーリエスペクトルを並べ、全体を $L1$ ノルム

10

20

30

40

50

(マンハッタン距離)で正規化したものを、あらためて重複分解ボクセル特徴量 f_{DVD} とする。重複分解ボクセル特徴量 f_{DVD} の最終的な次元数は、 $((M - N) / T + 1)^3 \times K$ で、実施例の数字を代入すると、540次元となる。

【0038】

デプスバッファ特徴量演算部42の二次元画像形成部421は、姿勢正規化処理部30にて姿勢正規化及び正規化を経た三次元物体のデータに基づき、デプスバッファ特徴量の演算に用いる二次元画像(デプスバッファ画像)を形成する。ここに、デプスバッファ画像は、任意の視点から三次元物体モデルの表面までの距離(深さ)を二次元画像で表したものである。

実施例では、三次元物体モデルの直交6方向からの視点で 256×256 の画素をもつデプスバッファ画像を形成する(図7参照)。

デプスバッファ画像が持つ z 値(深さ)は $[0, 255]$ の整数を取り、距離が遠いほど値は小さく、近いほど値は大きい。また、背景は0である。

【0039】

次に補正部423は、デプスバッファ画像に中心からの距離情報を埋め込むことにより、これを補正する。具体的には、デプスバッファ画像の各画素の輝度を $I(x, y)$ としたとき、デプスバッファ画像の中心からの距離を r とすると、画素サイズを 256×256 とした実施例の場合、補正された画像の各座標の輝度 $I'(x, y)$ は、次のように表される(実施例では、 $R = 128$)。

【数14】

$$r = \sqrt{(R - x)^2 + (R - y)^2}$$

$$I'(x, y) = rI(x, y)^2$$

補正された画像を周辺強調画像(Periphery Enhanced Image (PEI))とよぶことがある。補正された画像を図8に示す。図8及び式14より、補正された二次元画像は画像の中心から離れるしがたって画素の濃淡が強調されていることがわかる。また、画像の中心に近づくにしたがって画素が暗くなることもわかる。

最後に、補正されたデプスバッファ画像を直交座標から極座標へと変換する。極座標変換した画像を図9に示す。極座標は、横軸が r 、縦軸が回転角 θ を表す。画像の大きさは、実施例の場合、 $R \times R = 128 \times 128$ (ただし、 $R = 128$ 、 $T = 512$)となる。

【0040】

次にフーリエ変換部425が極座標変換した画像をフーリエ変換し、フーリエ係数 $g_{\rho\phi}$ を得る。

【数15】

$$g_{\rho\phi} = \sum_r \sum_{\theta} I'(r, \theta) e^{-j2\pi(r\rho/R + \theta\phi/T)}$$

ここに、 ρ は横軸の空間周波数、 ϕ は縦軸の空間周波数を表し、 $0 < \rho < 128$ 、 $0 < \phi < 512$ である。このフーリエ係数の大きさがパワースペクトルである。極座標では、直交座標における回転が平行移動となり、フーリエ変換により得られるパワースペクトルは平行移動不変の性質を持つ。姿勢正規化に誤りがある場合に、向きの任意性を若干緩和できる。

以上の処理により得られた、6画像分のパワースペクトルの低周波成分のみ取出したものをデプスバッファ特徴量 $f_{Depth Buffer}$ とする。次式の通り、デプスバッファ特徴量 $f_{Depth Buffer}$ は、 $(N1 + 1) \times (N2 + 1)$ 次元の特徴量次元である。なお、実施例においては、 $N1 = 7$ 、 $N2 = 31$ とした。

10

20

30

40

【数 1 6】

$$\mathbf{m}_{DepthBuffer} = (|g_{0,0}^{(1)}|, |g_{0,1}^{(1)}|, \dots, |g_{0,N_2}^{(1)}|, \dots, |g_{N_1,0}^{(1)}|, \dots, |g_{N_1,N_2}^{(1)}|, \dots, |g_{N_1,N_2}^{(6)}|)$$

$$\mathbf{f}_{DepthBuffer} = \mathbf{m}_{DepthBuffer} / |\mathbf{m}_{DepthBuffer}|$$

低周波成分のみを特徴量として使用するの、類似検索の場合、形状の微細な相違を表す高周波成分を無視するためである。

複合部 4 3 は、重複分解ボクセル特徴量演算部 4 1 により得られた重複分解ボクセル特徴量 f_{DVD} と、奥行バッファ特徴量演算部 4 2 により得られた奥行バッファ特徴量 $f_{DepthBuffer}$ を複合する。

【0 0 4 1】

特徴量比較部 5 0 は、複合部 4 3 で得られた最終的な距離をデータベースに保存されている距離と比較する。複合特徴量の相違度計算には、マンハッタン距離を用いる。

【数 1 7】

$$d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \sum_i |a_i - b_i|$$

また、正規化手法の選択は、Point SVDにより正規化した三次元物体から生成した相違度 d_{point} と、Normal SVDにより正規化した三次元物体から生成した相違度 d_{normal} とで、値が小さいものを、最適な正規化手法として選択する。次式で、最終的な相違度を計算する。

【数 1 8】

$$d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \min(d_{point}(\mathbf{a}, \mathbf{b}), d_{normal}(\mathbf{a}, \mathbf{b}))$$

【0 0 4 2】

そして、特徴量比較部 5 0 は、最も距離の短い三次元物体モデルをディスプレイに表示したり、あるいは、距離の近いものから順に並べてディスプレイへ表示したりすることによって、検索結果を出力する。

【0 0 4 3】

次に、第 1 実施形態の検索システム 1 の効果を、実施例により説明する。P S B (Princeton Shape Benchmark) を用いた再現率 - 適合率曲線は、図 1 0 のような結果となった。図 1 0 の縦軸「precision」は検索精度（誤検索の少なさ）を表し、横軸「recall」は再現率（検索漏れの少なさ）を表す。図 1 0 において、実線アが検索システム 1 による効果を示し、実線イ、ウ、エ、オ、カ、キ、クはそれぞれ比較対象として、重複分解ボクセル特徴量のみを用いた場合（即ち、第 1 実施形態においてデプスバッファ特徴量を複合せずに、式 1 7、式 1 8 の計算を行った場合）、MFSD、DESIRE（ドイツ、Vranicらによる複合特徴量、2004年）、LFD、SHD、SPRH（ドイツ航空センターWahlらの特徴量、2003年）、D2を表す。これらの比較対象のいずれと比べても、本願発明による手法が上回っていることが分かる。

【0 0 4 4】

一方、LDP法との比較を図 1 1 に示す。本願発明即ち、重複分解ボクセル特徴量とデプスバッファ特徴量の併用の効果は実線 a により示す。LDP法は、任意の手法で得られた特徴量を次元削減するものであり、特徴量算出手法と独立に適用できるため、図 1 1 では、MFSD + LDP（実線 b）という形で比較した。実線 c は MFSD 単独による効果、実線 d は重複分解ボクセル特徴量単独による効果を示す。

LDP は特徴量を得られた後のデータに対して学習を行い次元削減するものであり一般に高性能となるが、図 1 1 によれば、本願発明の重複分解ボクセル特徴量とデプスバッファ特徴量を併用する手法により、LDP にほぼ匹敵する検索性能が得られることが分かる

10

20

30

40

50

。

【 0 0 4 5 】

(第 2 実施形態)

次に、本発明の第 2 実施形態について、図 1 2 を参照して説明する。

図 1 2 に示す第 2 実施形態の三次元物体を分類するための分類システム 1 0 1 は、第 1 実施形態の特徴量比較部 5 0 に代えて、分類部 6 0 を有する。また、記憶部 1 0 は、第 1 実施形態の既知三次元物体モデルの特徴量データベース 1 3 に代えて、カテゴリ特徴量記憶部 1 3 1 を有する。カテゴリ特徴量記憶部 1 3 1 は、予め、複数の三次元物体モデルをそれぞれ含む複数のカテゴリ（例えば、自動車、動物、昆虫、あるいは更に詳細に、四輪自動車、オートバイ、バス、犬、猫、ウサギ、カブトムシ、テントウムシ、・・・等）を記憶しており、各カテゴリには、それぞれ各カテゴリの三次元物体モデルを代表する特徴量（例えば、各カテゴリの三次元物体モデルの平均的な特徴量）が付与されている。その他の構成は図 1 の検索システム 1 と同じである。

10

【 0 0 4 6 】

分類システム 1 0 1 の特徴量演算部 4 0 は、第 1 実施形態の検索システム 1 と同じ方法により、モデル化された三次元物体の複合特徴量を求める。そして、分類部 6 0 は、複合特徴量と、前記複数のカテゴリにそれぞれ予め付与された特徴量を比較することにより、三次元物体を複数のカテゴリのうち最も特徴量が類似するカテゴリに分類する。分類結果は入出力部 2 0 を介して出力される。

これにより、高い精度で三次元物体をカテゴリに分類することができる。

20

【 0 0 4 7 】

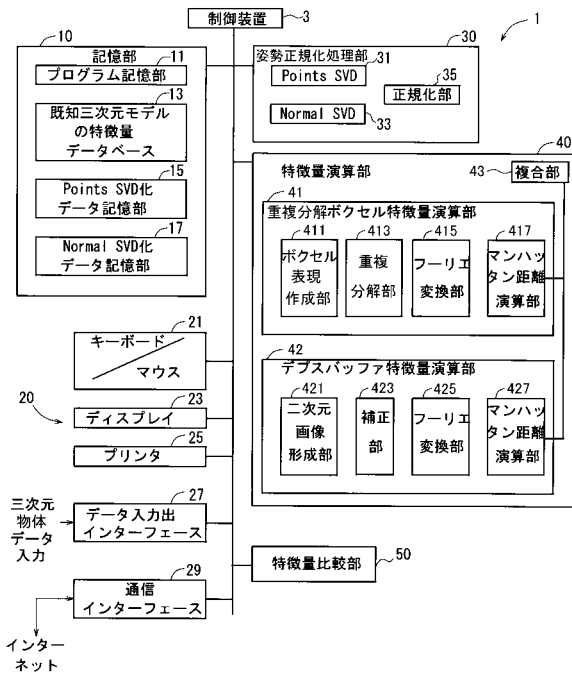
本明細書の中で明示した論文、公開特許公報、特許公報などの内容は、その全ての内容を援用によって引用することとする。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 8 】

1 三次元物体モデルの検索システム、 1 0 記憶部、 2 0 入出力装置、 3 0 姿勢正規化処理部、 4 0 特徴量演算部、 5 0 特徴量比較部、 6 0 分類部、 1 0 1 三次元物体の分類システム

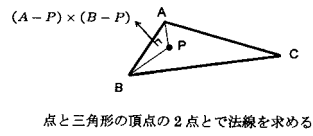
【 図 1 】



【 図 2 】



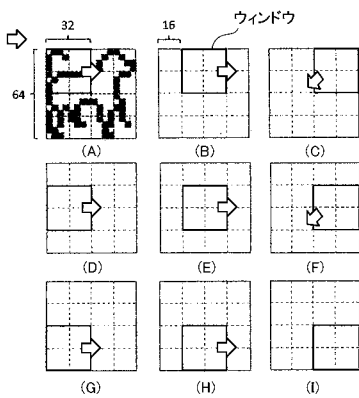
【 図 3 】



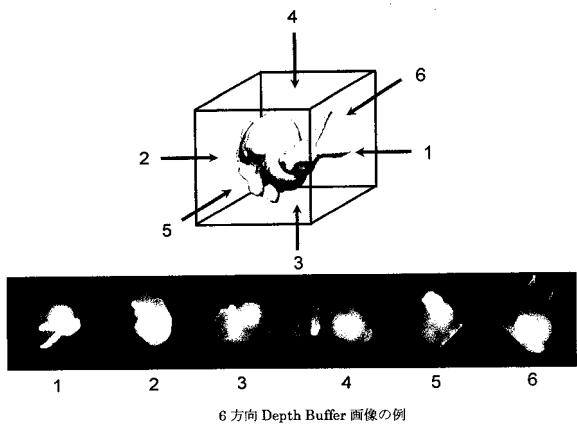
【 図 4 】



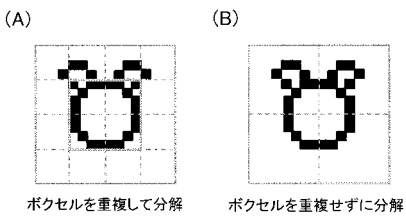
【 図 5 】



【 図 7 】



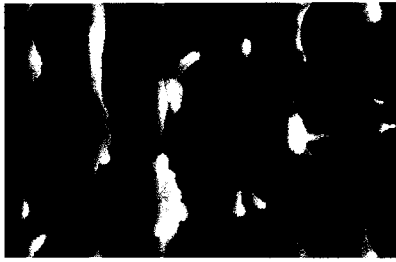
【 図 6 】



【 図 8 】

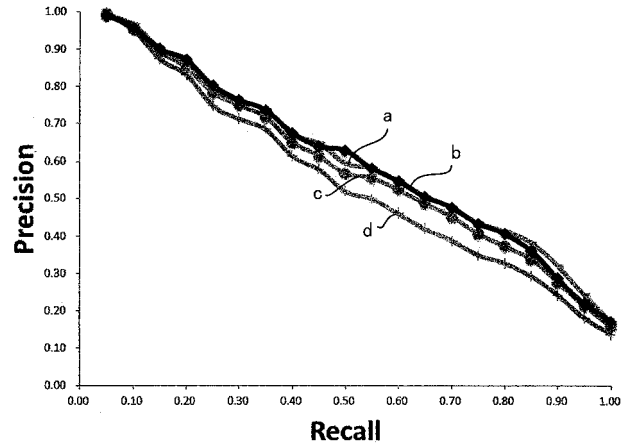


【 図 9 】

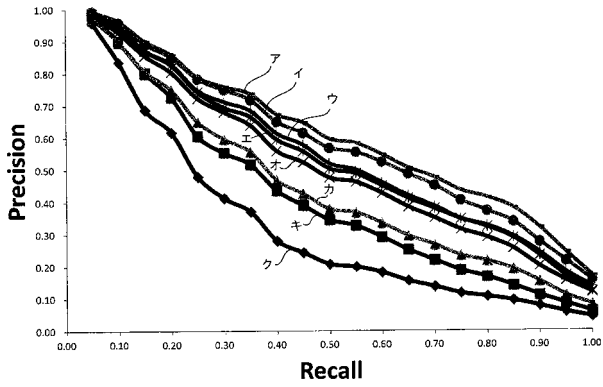


極座標変換した画像

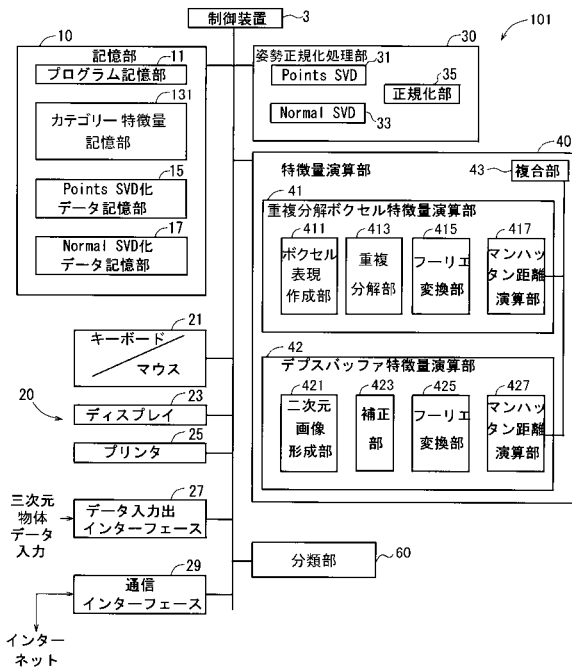
【 図 1 1 】



【 図 1 0 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5B050 BA09 BA13 DA10 EA07 EA18 EA27 EA28 FA02 GA08
5B080 AA14 AA17 BA02 DA06 GA02
5L096 AA09 FA23 HA07 JA11 JA18