

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011年12月15日(15.12.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/155288 A1

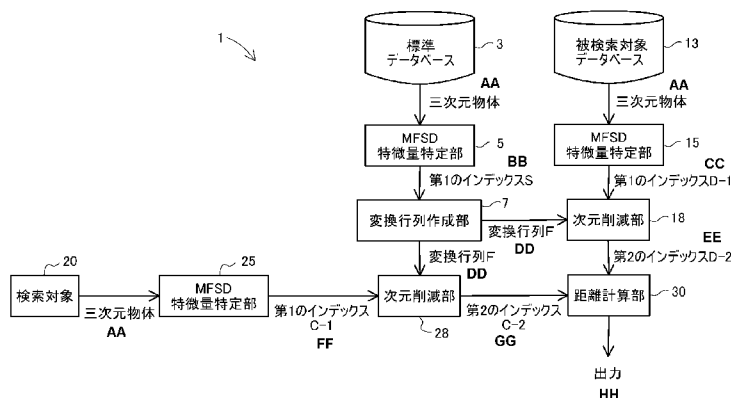
- (51) 国際特許分類:
G06T 1/00 (2006.01) G06F 17/30 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/061078
- (22) 国際出願日: 2011年5月13日(13.05.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-134589 2010年6月11日(11.06.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人豊橋技術科学大学(National University Corporation TOYOHASHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒4418580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 青野雅樹(AONO, Masaki) [JP/JP]; 〒4418580 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 Aichi (JP). 立間淳司(TATSUMA, Atsushi) [JP/JP]; 〒4418580 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 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 小西 富雅(KONISHI, Tomimasa); 〒4600002 愛知県名古屋市中区丸の内二丁目17番12号 丸の内エステートビル Aichi (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: DATA INDEX DIMENSION REDUCTION METHOD, AND DATA SEARCH METHOD AND DEVICE USING SAME

(54) 発明の名称: データのインデックスの次元削減方法及びそれを利用したデータ検索方法及びに装置

[図1]



- 3 STANDARD DATABASE
- AA THREE-DIMENSIONAL OBJECT
- 5, 15, 25 MFSD FEATURE QUANTITY SPECIFICATION UNIT
- BB FIRST INDEX S
- 7 TRANSFORMATION MATRIX CREATION UNIT
- CC FIRST INDEX D-1
- 13 DATABASE TO BE QUERIED
- DD TRANSFORMATION MATRIX F
- 18, 28 DIMENSION REDUCTION UNIT
- EE SECOND INDEX D-2
- 20 QUERY
- FF FIRST INDEX C-1
- 30 DISTANCE CALCULATION UNIT
- GG SECOND INDEX C-2
- HH OUTPUT

(57) Abstract: Disclosed is a new method of reducing indices of feature quantities to be compared, comprising the steps of deriving a Gaussian kernel matrix for a first index corresponding to a feature quantity for standardization that is included in a standard database; normalizing the Gaussian kernel matrix; deriving an anisotropic transition kernel matrix from the normalized Gaussian kernel matrix; and deriving a transformation matrix (F) from an eigenvalue problem of the anisotropic transition kernel matrix.

(57) 要約: 比較対象の特徴量のインデックスを削減する新たな方法を提案する。標準データベースに含まれる標準対象の特徴量に対応する第1のインデックスにつきガウスカーネル行列を求めるステップと、ガウスカーネル行列を正規化するステップと、正規化されたガウスカーネル行列から異方性遷移カーネル行列を求めるステップと、この異方性遷移カーネル行列の固有値問題から変換行列Fを求める。

WO 2011/155288 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

データのインデックスの次元削減方法及びそれを利用したデータ検索方法並びに装置

技術分野

[0001] 本発明はデータのインデックスの次元削減方法及びそれを利用したデータ検索方法並びに装置に関する。

このインデックスの次元削減方法は三次元物体モデルのデータベース検索に好適に用いられる。

背景技術

[0002] 三次元物体モデルのデータベースを構成する各データ（三次元物体モデルのデータ）はその特徴量をインデックスDとして特定できる。

検索対象（クエリ）の三次元物体モデルに類似した三次元物体モデルをデータベースから選択する際に、検索対象の三次元物体モデルの特徴量に対応するインデックスCとデータベース中の各三次元物体モデルのインデックスDとが比較される。前者のインデックスCに近いインデックスDを有する三次元物体モデルがデータベースから選択される。

三次元物体モデルの特徴量を特定するインデックスは、例えば特許文献1に記載のMFSD法を用いることができる。ここにMFSD法とは、4つのスペクトル特徴量、すなわちデプスバッファ画像、シルエット画像、輪郭画像、およびボクセルからのスペクトル特徴量を複合したもの（MFSD特徴量）を与える。ただし、デプスバッファ画像、シルエット画像には、周辺輝度強調フィルタを適用している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：再表2008-056757号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 三次元物体モデルのMFSD特徴量は3500程度の次元をもつインデックスで表わされる。

かかる高次元のインデックスをベースに比較を実行するには、処理装置に大きな記憶容量が要求され、また比較のための演算にも長時間を要する。

そこでインデックスの次元を削減する必要がある、従来より、主成分分析や特異値分解を用いてインデックスの次元を削減することが提案されている。

かかるインデックスの次元削減方法によれば、確かにデータ数が圧縮されるので処理装置にかかる負担が小さくなり、短時間での演算が可能になる。しかしながら、検索の精度の点に不安があった。

そこでこの発明は比較対象の特徴量のインデックスを削減する新たな方法を提案する。

課題を解決するための手段

[0005] この発明の第1の局面は次のように規定される。即ち、
比較対象の特徴量に対応する第1のインデックスの次元を削減して第2のインデックスを生成するための変換行列を形成する方法であって、
標準データベースに含まれる標準対象の特徴量に対応する前記第1のインデックスにつきガウスカネル行列を求めるステップと、
前記ガウスカネル行列を正規化するステップと、
前記正規化されたガウスカネル行列から異方性遷移カーネル行列を求めるステップと、
を含む、ことを特徴とする変換行列の形成方法。

[0006] この発明の第1の局面の方法により得られる変換行列を用いると、被比較対象の特徴量に対応する第1のインデックスの次元が削減される。次元の削減された第2のインデックスに基づき比較を実行することにより、処理装置の負担が軽減される。更には、実施例に示すとおり、MFSD特徴量に関してはその検索精度も向上した。

第1の局面で規定する変換行列の適用はMFDS特徴量のインデックスのみに限定されるものではなく、その他各種のデータ（二次元図形データ、テキストデータ等）にも適用可能である。

図面の簡単な説明

- [0007] [図1]実施例の検索システムの構成を示すブロック図である。
[図2]PSBにおける各次元削減手法での検索精度を再現率－適合率を示すグラフである。
[図3]KODにおける各次元削減手法での検索精度を再現率－適合率を示すグラフである。
[図4]NMBにおける各次元削減手法での検索精度を再現率－適合率を示すグラフである。
[図5]MSBにおける各次元削減手法での検索精度を再現率－適合率を示すグラフである。
[図6]ESBにおける各次元削減手法での検索精度を再現率－適合率を示すグラフである。

発明を実施するための形態

- [0008] 変換行列を求めるアルゴリズムについて更に詳細に説明する。
- (1) 線形次元削減 (例: 主成分分析による次元削減)
- n 次元の m 個の点 $X = [x_1, x_2, \dots, x_m] \in R^n$ が与えられた、と仮定する。一般的な線形次元削減の問題は、これら m 個の点を d 次元の点 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_m] \in R^d$ ($d \ll n$) へと射影する変換行列 F を求めることであり、 $Y = F^T X$ と表せる。多様体学習における線形次元削減は、 X が n 次元の非線形の多様体 M^n にある場合の問題となる。
- [0009] (2) 線形拡散射影による次元削減のアルゴリズム
- 線形拡散射影のアルゴリズムは以下の通りである。
- (ステップ1) (ガウスカーネル行列の計算)
- ガウスカーネル行列 W を求める。この求め方は、行列の要素 W_{ij} を以下のよう_に決める。サンプル点 x_i と x_j とのユークリッド距離、カーネルの幅を表

すパラメータ σ から、以下の数式でもとめられる。

[数1]

$$W_{i,j} = e^{-\frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2}{2\sigma^2}}$$

[0010] (ステップ2) (カーネル行列の正規化)

以下のようにして、ガウスカーネル行列を正規化する。

[数2]

$$\widetilde{W} = D^{-1} W D^{-1}$$

ここでDは、

[数3]

$$D_{i,i} = \sum_j W_{i,j}$$

である。

[0011] (ステップ3) (異方性遷移カーネル行列の計算)

異方性遷移カーネル行列を、以下のようにして求める。

[数4]

$$\widetilde{P} = \widetilde{D}^{-1} \widetilde{W}$$

ここで、

[数5]

$$\widetilde{D} \text{ は、 } \widetilde{D}_{i,i} = \sum_j \widetilde{W}_{i,j}$$

である。

[0012] (ステップ4) (固有値分解)

固有値を λ 、それに対応する固有ベクトルを f として以下の固有値問題を解

く。

[数6]

$$W_{i,j} = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}}$$

固有値

[数7]

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_d$$

に対応する d 個の固有ベクトル f から、

$n \times d$ の変換行列 F を求める。

[数8]

$$\mathbf{x}_i \rightarrow \mathbf{y}_i = F^T \mathbf{x}_i, F = [\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \dots, \mathbf{f}_d]$$

ここで \mathbf{y}_i は、 \mathbf{x}_i を次元削減した d 次元のベクトルである。

[0013] 上記のアルゴリズムを予め準備された標準データベースに含まれる標準対象の特徴量に対して実行して変換行列 F を準備する。

標準データベースに含まれる標準対象は、検索対象（クエリ）となることが予想される対象と同種の対象において任意に選択できる。ここに同種の対象とは、その特徴量が同一のインデックスで特定できるものいう。例えば、検索対象が三次元物体モデルであれば標準対象も三次元物体モデルである。

標準データベースに含まれる標準対象はアトランダムに選択することができる。例えば、三次元物体が比較対象であるとき、標準データベースに含まれる標準対象として自動車、家、機械部品、テレビ、おもちゃ等、相互の関連性のない三次元物体の形状を選択することができる。

検査対象（クエリ）及び被検索対象データベースが予め限定されているとき、例えば、検索対象が椅子であり、検索対象データベースが家具のときは、標準データベースに含ませるべき標準対象を椅子及び／又は家具に限定す

することもできる。このような場合には、被検索対象データベースから標準データベースに含ませるべき標準対象を任意に又はアトランダムに抽出することができる。

標準データベースに含ませるべき標準対象の数は、変換行列の実行により得られる第2のインデックスの次元の数以上とすることが好ましい。検索対象データベースに含まれるデータ数によっては（処理装置が処理可能な範囲内において）、検索対象データベース自体を標準データベースとして使用することもできる。

[0014] このようにして得られた変換行列Fを検索対象の特徴量に対応する第1のインデックスC-1に掛け合わせてより次元の小さい第2のインデックスC-2を求める。同様にして、変換行列Fを被検索対象データベースに含まれる全ての被検索対象の特徴量に対応する第1のインデックスD-1に掛け合わせてより次元に小さい第2のインデックスD-2を求める。検索対象の第2のインデックスC-2と各被検索対象の第2のインデックスD-2とを比較する。このように次元数の小さいインデックスどうしでの比較により、検索システム（処理装置）にかかる負担が小さく、検索時間も短縮される。

[0015] 上記のインデックス削減方法、即ち変換行列Fを三次元物体モデルの検索に適用した例を以下に説明する。

図1は三次元物体モデルの検索装置1の構成を示すブロック図である。

検索システムのハードディスク等により構成される標準データベース3に任意のデータベースを保存可能である。

M F S D特徴量特定部5は標準データベースに含まれる三次元物体の特徴量を、M F S D法に基づき特定する。ここに、特定されたM F S D特徴量は3 5 8 4の次元を有する（第1のインデックスS）。

[0016] 変換行列作成部7では線形拡散射影を用いた既述のアルゴリズム（1）～（4）を実行し、変換行列Fを特定する。この変換行列Fを第1のインデックス（3 5 8 4次元）に掛け合わせると次元数が約1 / 10に圧縮された第2のインデックス（3 5 0次元）が得られる。

[0017] 被検索対象データベース13には既知の三次元物体の形状が保存され、各三次元物体についてMFSD特徴量特定部15によりそのMFSD特徴量（第1のインデックスD-1）が特定され、図示しないメモリに保存される。次元削減部18では各三次元物体のMFSD特徴量（第1のインデックスD-1）へ変換行列Fが掛け合わされる。これにより、3584次元の第1のインデックスD-1が350次元の第2のインデックスに変換される。この第2のインデックスも図示しないメモリへ保存される。

[0018] ユーザにより指定された検索対象20のMFSD特徴量（第1のインデックスC-1）がMFSD特徴量特定部25で特定され、更に、次元削減部28において変換行列Fが掛け合わされる。これにより、3584次元の第1のインデックスC-1が350次元の第2のインデックスC-2に変換される。

比較手段としての距離計算部30では、検索対象の第2のインデックスC-2と被検索データベースの各検索対象の第2のインデックスD-2とのマンハッタン距離が比較され、その距離が小さいものから類似性が高いと評価される。

実施例

[0019] 図1のシステムの有効性を確認するため、被検索対象データベースとして、Princeton Shape Benchmark Test Sets (PSB)、Konstanz 3D Object Database (KOD)、NTU 3D Model Benchmark (NMB)、McGill Shape Benchmark (MSB)、Engineering Shape Benchmark (ESB)の5種類の三次元物体データベースを準備した。

また、標準データベースには National Taiwan University 3D Model Database (NTU) 用いた。

NTUには 10,911個の未分類の三次元物体が含まれている。ここからランダムに選択した 5,000個の三次元物体を訓練データとして使

用した。

検索対象には各被検索対象データベースに含まれるもの全てを選択し、各被検索対象データベースごとにマイクロ平均をとった。

[0020] 検索精度の評価尺度には、`First Tier (1-Tier)`、`Second Tier (2-Tier)`、`Nearest Neighbor (NN)`、`Discounted Cumulative Gain (DCG)`、および再現率 (`Recall`)、適合率 (`Precision`) を用いた。ここで、`1-Tier`、`2-Tier` は、検索結果上位での検索精度を示す値である。`1-Tier`、`2-Tier`、`NN`、`DCG` は値が大きいほど検索精度が高く、再現率-適合率のグラフではカーブが右上に近づくほど検索精度が高い。各評価尺度は、各検索対象三次元物体の評価尺度の平均を、全体の平均評価尺度とするマイクロ平均で表す。クラスごとに評価尺度の平均を計算し、それらの平均を全体の平均評価尺度とするマクロ平均では、各クラスが少数の三次元物体で構成される場合に、評価尺度の計算結果に偏りが生じる。評価実験に使用する三次元物体データベースは、いずれも、各クラスが少数の三次元物体で構成されるためマイクロ平均を選択した。

[0021] (2) パラメータの設定

この発明にかかる線形拡散射影 (`LDP`) は、カーネルの近傍幅を表すパラメータ σ を持つ。他手法との比較実験を行う前に、パラメータ σ の最適値を、テストデータベースに `Princeton Shape Benchmark Test Sets (PSB)` を用いて、実験により求めた。

`MFSD` において、正対処理に `Point SVD` を用いたデプスバッファ特徴量を `LDP` を用いて 100 次元に次元削減し、評価尺度 `1-Tier` が最大となるパラメータ値を求めた。線形拡散射影はガウスカーネルの近傍幅 σ がパラメータとなる σ を $\{1.0, 2.0, \dots, 10.0\}$ と変化させて最適値を求めた。実験結果から、 $\sigma = 4$ としたものが 41.5% ともっとも高い検索精度となった。また、遷移確率行列 `P` を用いた場合では 13.4

%となった。異方性遷移カーネルを導入する有効性がわかった。

[0022] (3) 次元削減数の検討

既知の次元削減法である Locality Preserving Projections (LPP)、Neighborhood Preserving Embedding (NPE)、Isometric Projections (ISO) はパラメータとして近傍数をもつ。さらに、重みにガウスクーネルを選択した LPP ではパラメータとして近傍幅 σ をもつ。近傍数を {10, 20, ...} と変化させて最適値を求めた。また、 σ を {1.0, 2.0, ..., 10.0} と変化させて最適値を求めた。LPP は近傍数を 10、近傍幅 σ のガウスクーネルを重みに選択したものが 28.57% と最も高い検索精度となった。また、LPP は近傍数を大きくするほど検索精度が低下した。NPE の近傍数は 110、120 と大きくしていくごとに検索精度が高くなり、近傍数 360 で 41.0% と最も高い検索精度となった。ISO では、近傍数を 90 としたものが 28.46% と最も高い検索精度となった。以降の実験ではパラメータにこれら最適値を使用する。各特徴量において、次元削減数を {10, 20, ..., 150} と変化させ、評価尺度 1-Tier が最大となる値を求めた。各特徴量の正対処理には Point SVD を用いた。被検索対象データベース、標準データベースは (2) と同様である。最も高い検索精度を得た次元削減数は表 1 に示すように、デプスバッファ特徴量で 120 次元、シルエット特徴量で 100 次元、輪郭特徴量で 70 次元、ボクセル特徴量で 60 次元となった。

[0023] [表1]

MFSDに含まれる特徴量の各次元削減手法における最適な次元数

特徴量	LDP	PCA	LPP	NPE	ISO	MFSD
デプスバッファ特徴量	120	130	60	110	30	1,536
シルエット特徴量	100	50	70	70	60	768
輪郭特徴量	70	70	60	90	30	768
ボクセル特徴量	60	80	40	60	30	512
合計	350	330	230	330	120	3,584

[0024] (4) 様々なデータベースでの検索精度の比較

複数の検索対象データベースで、LDPで次元削減した特徴量と、次元削減を行わない元の特徴量(MFSD)、PCA、LPP、NPE、ISOで次元削減した特徴量とで検索精度の比較実験を行った。標準データベースは(2)と同じものを用いた。次元削減数やパラメータについては実験で最も高い検索精度を得られた値を用いた。

[0025] (4-A) Princeton Shape Benchmark Test Sets (PSB)

PSBは人間、自動車、植物などの特定の分野に偏らない907個の三次元物体が90個のクラスに分類されている。三次元物体の形状類似検索の研究において、基本的な検索性能を評価するベンチマークとして、広く用いられている。

図2は、PSBにおける各次元削減手法での検索精度を再現率—適合率の曲線で表したものである。LDPで次元削減したものが、最も高い検索精度となった。また、LDP、PCA、NPEでは次元削減しないMFSDよりも高い検索精度を得た。再現率 {0.05, 0.10, ..., 1.0} での平均適合率は次元削減しないMFSDが0.5564なのに対し、次元削減したものはLDPで0.5983、PCAで0.5667、LPPで0.5155、NPEで0.5896、ISOで0.5471となった。

[0026] 表2は、PSBにおける各次元削減手法での検索精度を1-Tier、2-Tier、NN、DCGで表したものである。全ての評価尺度で、LDPで次元削減したものが最も高い検索精度となった。また、LDPで次元削減したものが次元削減しないMFSDよりも高い検索精度となった。LDPによる次元削減が、他の手法に比べ、MFSDがなす非線形構造をとらえ次元削減できたと考える。

[0027]

[表2]

1-Tier、2-Tier、NN及びDCGにおけるPSBでの性能比較

Method	1-Tier	2-Tier	NN	DCG
LDP	46.86%	60.70%	72.99%	0.7190
PCA	44.00%	56.86%	70.12%	0.6927
LPP	38.54%	51.11%	66.15%	0.6485
NPE	46.03%	59.29%	71.55%	0.7095
ISO	41.45%	55.19%	65.27%	0.6713
MFSD	45.31%	59.09%	71.55%	0.7039

[0028] (4-B) Konstanz 3D Object Database (KOD)

KODは、Bustosらの研究で評価実験に用いられたデータベースである。473個の三次元物体が55個のクラスに分類されている。PSBと同様に、データベースに含まれる三次元物体は特定の分野によらず基本的な検索性能を評価することができる。

図3は、KODにおける各次元削減手法での検索精度を再現率-適合率の曲線で表したものである。LDPで次元削減したものが最も高い検索精度となった。また、LDPで次元削減したものは次元削減しないMFSDよりも高い検索精度を得た。平均適合率は、次元削減しないMFSDが0.7278なのに対し、次元削減したものは、LDPで0.7578、PCAで0.7263、LPPで0.6910、NPEで0.7443、ISOで0.7216となった。

[0029] 表3は、KODにおける各次元削減手法での検索精度を1-Tier、2-Tier、NN、DCGで表したものである。全ての評価尺度で、LDPで次元削減したものが、最も高い検索精度となった。また、LDPで次元削減したものは、次元削減しないMFSDにくらべ、検索精度が向上した。

[0030]

[表3]

1-Tier、2-Tier、NN、及びDCGにおけるKODでの性能比較

Method	1-Tier	2-Tier	NN	DCG
LDP	62.82%	79.30%	85.17%	0.8394
PCA	59.50%	74.67%	81.78%	0.8155
LPP	54.72%	71.04%	77.12%	0.7784
NPE	61.49%	77.60%	83.05%	0.8290
ISO	57.71%	74.88%	80.51%	0.8097
MFSD	58.69%	74.41%	82.20%	0.8131

[0031] (4-C) NTU 3D Model Benchmark (NMB)

NMBは、Chenらの研究で評価実験に用いられたデータベースである。549個の物体が47個のクラスに分類されている。PSBと同様に特定の分野への偏りがないため、基本的な検索性能を評価できる。また、標準データベースに用いた National Taiwan University 3D Model Databaseとは、異なるデータベースである。

図4は、NMBにおける各次元削減手法での検索精度を再現率-適合率の曲線で表したものである。LDPで次元削減したものが他の次元削減手法で次元削減したものよりも高い検索精度となった。平均適合率は、次元削減しないMFSDが0.5439なのに対し、次元削減したものはLDPで0.5464、PCAで0.5282、LPPで0.4952、NPEで0.5371、ISOで0.5109となった。

[0032] 表4は、NMBにおける、各次元削減手法での検索精度を1-Tier、2-Tier、NN、DCGで表したものである。1-Tier、NNでは次元削減しないMFSDが、2-Tier、DCGではLDPで次元削減したものが、それぞれ最も高い検索精度となった。LDPでは、次元削減したものが他の次元削減手法に比べ高い検索精度となった。

PSB、KODでの実験結果とあわせて、LDPで次元削減することで、

基本的な検索精度が向上することがわかる。

[0033] [表4]

1-Tier、2-Tier、NN、及びDCGにおけるNMBでの性能比較

Method	1-Tier	2-Tier	NN	DCG
LDP	42.59%	56.44%	73.41%	0.7126
PCA	41.14%	54.29%	72.31%	0.6964
LPP	38.40%	51.06%	67.94%	0.6800
NPE	41.81%	55.32%	72.50%	0.7063
ISO	39.64%	52.61%	69.95%	0.6893
MFSD	42.88%	55.40%	75.59%	0.7125

[0034] (4-4) McGill 3D Shape Benchmark (MSB)

MSBは、ボクセル化された457個の三次元物体が19個のクラスに分類されているデータベースである。PSBが馬クラス・犬クラスと分類されているのに対し、MSBでは四本足の動物は全て同じ四本足動物クラスに分類されるなど、他のデータベースと比較すると、多少、大雑把なクラス分類となっている。

図5は、MSBにおける各次元削減手法での検索精度を再現率-適合率の曲線で表したものである。LDPで次元削減したものが最も高い検索精度となった。また、LDP、PCAで次元削減したものは、次元削減しないMFSDよりもそれぞれ高い検索精度を得た。平均適合率は、次元削減しないMFSDが0.6010なのに対し、次元削減したものは、LDPで0.6493、PCAで0.6132、LPPで0.5130、NPEで0.6309、ISOで0.5370となった。

[0035] 表5は、MSBにおける各次元削減手法での検索精度を1-Tier、2-Tier、NN、DCGで表したものである。全ての評価尺度で、LDPで次元削減したものが最も高い検索精度となった。

また、LDP、PCAにより次元削減したものは、全ての評価尺度で、次元削減しないMFSDにくらべ検索精度が向上した。

[0036] [表5]

1-Tier、2-Tier、NN、及びDCGにおけるMSBでの性能比較

Method	1-Tier	2-Tier	NN	DCG
LDP	57.93%	71.04%	94.53%	0.8556
PCA	54.34%	66.71%	93.44%	0.8385
LPP	45.34%	59.06%	84.03%	0.7749
NPE	55.98%	69.60%	94.31%	0.8467
ISO	47.81%	62.76%	84.90%	0.7875
MFSD	53.15%	65.44%	92.56%	0.8284

(4-E) Engineering Shape Benchmark (ESB)

ESBは、801個の三次元物体が42個のクラスに分類されているデータベースである。機械部品の三次元物体から構成され、3DCADにおける部品検索などの応用における検索精度を評価することができる。

図6は、ESBにおける各次元削減手法での検索精度を再現率—適合率の曲線で表したものである。LDPで次元削減したものが他の次元削減手法で次元削減したものよりも高い検索精度となった。平均適合率は、次元削減しないMFSDが0.5683なのに対し、次元削減したものは、LDPで0.5715、PCAで0.5625、LPPで0.5360、NPEで0.5694、ISOで0.5396となった。

[0037] 表6は、ESBにおける、各次元削減手法での検索精度を、1-Tier、2-Tier、NN、DCGで表したものである。1-Tierでは、NPEで次元削減したものが、2-Tierでは、次元削減しないMFSDが、NN、DCGでは、LDPで次元削減したものが、最も高い検索精度となった。また、全ての評価尺度でLDPで次元削減したものが他の次元削

減手法に比べ高い検索精度となった。

[0038] [表6]

1-Tier 2-Tier、NN、及びDCGにおけるESBでの性能比較

Method	1-Tier	2-Tier	NN	DCG
LDP	49.37%	65.31%	87.99%	0.7926
PCA	48.70%	64.58%	87.48%	0.7878
LPP	46.18%	62.30%	86.23%	0.7699
NPE	49.47%	65.11%	87.73%	0.7915
ISO	46.53%	61.75%	86.61%	0.7734
MFSD	49.40%	65.77%	87.50%	0.7887

[0039] 自動車製造業に代表される機械部品の製造業では、三次元物体の形状モデルを三次元CAD/CAMシステムで製作するのが通常業務として行われている。また、建設業界でも建物の外観・内装や建物周辺の風景を建立前にCGを使ってシミュレーションするために、三次元の建物モデル、部屋のモデル、家具や樹木などのモデルを作成することが広く行われている。さらに、アニメーションや映画、コマーシャルフィルムなどの作成にも、今では三次元CG技術は欠かせないものとなっている。

しかしながら、このような応用分野で、精緻な三次元モデルを最初に作成する場合、2次元の図形描画よりもはるかに多くの労力と時間を要する。そこで、これらの応用分野で、一度人手や三次元スキャナなどの補助手段で入力し作成した三次元モデルを、三次元物体モデル・データベースに保存しておき、類似した三次元物体の形状モデルを作成する場合に、類似した形状の物体モデルを再利用することで大幅なコスト削減がはかれると考えられる。本発明は、このような環境下で、作成したい三次元形状に類似した三次元物体を、三次元モデル・データベースから、できるだけ正確に検索でき、かつ検索用のインデックスを提案手法の線形拡散射影で次元削減し、圧縮することで、実用的な「三次元物体形状の検索エンジン」としての利用を可能とす

るものである。

[0040] この発明は、上記発明の実施の形態及び実施例の説明に何ら限定されるものではない。特許請求の範囲の記載を逸脱せず、当業者が容易に想到できる範囲で種々の変形態様もこの発明に含まれる。

符号の説明

- [0041] 1 検索システム
3 標準データベース
5, 15, 25 MFS D特徴量特定部
7 変換行列作成部
18, 28 次元削減部
30 距離計算部（比較部）

請求の範囲

[請求項1] 比較対象の特徴量に対応する第1のインデックスの次元を削減して第2のインデックスを生成するための変換行列を形成する方法であつて、

標準データベースに含まれる標準対象の特徴量に対応する前記第1のインデックスにつきガウスカーネル行列を求めるステップと、

前記ガウスカーネル行列を正規化するステップと、

前記正規化されたガウスカーネル行列から異方性遷移カーネル行列を求めるステップと、

を含む、ことを特徴とする変換行列の形成方法。

[請求項2] 前記ガウスカーネル行列Wは次のようにあらわされ、

[数1]

$$W_{i,j} = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}}$$

ただし、 $W_{i,j}$ は行列の要素、 $\|x_i - x_j\|^2$ はサンプル点 x_i 、 x_j のユークリッド距離、 σ はカーネル幅を表わすパラメータである、

前記ガウスカーネル行列の正規化は次のように行なわれ、

[数2]

$$\widetilde{W} = D^{-1}WD^{-1}$$

ここでDは、

[数3]

$$D_{i,i} = \sum_j W_{i,j}$$

であり、

前記異方性遷移カーネル行列は次のようにして求められる、

[数4]

$$\widetilde{P} = \widetilde{D}^{-1} \widetilde{W}$$

ここで、

[数5]

$$\widetilde{D} \text{は、} \widetilde{D}_{i,i} = \sum_j \widetilde{W}_{i,j}$$

である、

ことを特徴とする請求項1に記載の変換行列の形成方法。

[請求項3]

被検索対象データベースに含まれる被検索対象につき夫々の特徴量に対応する第1のインデックスD-1を第1の方法により特定するステップと、

前記被検索対象の第1のインデックスD-1の次元を請求項1又は請求項2に記載の方法により得られた変換行列により削減して、第2のインデックスD-2を特定するステップと、

検索対象につきその特徴量に対応する第1のインデックスC-1を前記第1の方法により特定し、前記特定された検索対象の第1のインデックスC-1の次元を前記変換行列により削減して、第2のインデックスC-2を特定するステップと、

前記検索対象の第2のインデックスC-2を前記データベースに含まれる各被検索対象の第2のインデックスD-2と比較するステップと、を含むデータ検索方法。

[請求項4]

前記被検索対象及び前記検索対象は三次元モデルであり、前記第1の方法はMFS D法である、ことを特徴とする請求項3に記載のデータ検索方法。

[請求項5]

比較対象の特徴量に対応する第1のインデックスの次元を削減して第2のインデックスを生成するための変換行列を形成する装置であって、

標準データベースに含まれる標準対象の特徴量に対応する前記第1のインデックスにつきガウスカーネル行列を求める手段と、

前記ガウスカーネル行列を正規化する手段と、

前記正規化されたガウスカーネル行列から異方性遷移カーネル行列を求める手段と、

を含む、ことを特徴とする変換行列の形成装置。

[請求項6]

前記ガウスカーネル行列Wは次のようにあらわされ、

[数6]

$$W_{i,j} = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}}$$

ただし、 $W_{i,j}$ は行列の要素、 $\|x_i - x_j\|^2$ はサンプル点 x_i 、 x_j のユークリッド距離、 σ はカーネル幅を表わすパラメータである

、

前記ガウスカーネル行列の正規化は次のように行なわれ、

[数7]

$$\widehat{W} = D^{-1}WD^{-1}$$

ここでDは、

[数8]

$$D_{i,i} = \sum_j W_{i,j}$$

であり、

前記異方性遷移カーネル行列は次のようにして求められる、

[数9]

$$\widehat{P} = \widehat{D}^{-1}\widehat{W}$$

ここで、

[数10]

$$\widehat{D} \text{は、} \widehat{D}_{i,i} = \sum_j \widehat{W}_{i,j}$$

である、ことを特徴とする請求項5に記載の変換行列の形成装置。

[請求項7]

被検索対象データベースに含まれる被検索対象につき夫々の特徴量に対応する第1のインデックスD-1を第1の方法により特定する手段と、

前記被検索対象の第1のインデックスD-1の次元を請求項5又は請求項6に記載の装置により得られた変換行列により削減して、第2のインデックスD-2を特定する手段と、

検索対象につきその特徴量に対応する第1のインデックスC-1を前記第1の方法により特定し、前記特定された検索対象の第1のインデックスC-1の次元を前記変換行列により削減して、第2のインデックスC-2を特定し、

前記検索対象の第2のインデックスC-2を前記データベースに含まれる各被検索対象の第2のインデックスD-2と比較する手段と、を備えるデータ検索装置。

[請求項8]

前記被検索対象及び前記検索対象は三次元モデルであり、前記第1の方法はMFS D法である、ことを特徴とする請求項7に記載のデータ検索装置。

[請求項9]

比較対象の特徴量に対応する第1のインデックスの次元を削減して第2のインデックスを生成するための変換行列を形成するためのコンピュータプログラムであって、コンピュータを、

標準データベースに含まれる標準対象の特徴量に対応する前記第1のインデックスにつきガウスカーネル行列を求める手段と、

前記ガウスカーネル行列を正規化する手段と、

前記正規化されたガウスカーネル行列から異方性遷移カーネル行列を求める手段と、

として機能させる、ことを特徴とするコンピュータプログラム。

[請求項10]

前記ガウスクERNEL行列Wは次のようにあらわされ、

[数11]

$$W_{i,j} = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}}$$

ただし、 $W_{i,j}$ は行列の要素、 $\|x_i - x_j\|^2$ はサンプル点 x_i 、 x_j のユークリッド距離、 σ はカーネル幅を表わすパラメータである

、

前記ガウスクERNEL行列の正規化は次のように行なわれ、

[数12]

$$\widehat{W} = D^{-1}WD^{-1}$$

ここでDは、

[数13]

$$D_{i,i} = \sum_j W_{i,j}$$

であり、

前記異方性遷移カーネル行列は次のようにして求められる、

[数14]

$$\widehat{P} = \widehat{D}^{-1} \widehat{W}$$

ここで、

[数15]

$$\widehat{D} \text{は、} \widehat{D}_{i,i} = \sum_j \widehat{W}_{i,j}$$

である、ことを特徴とする請求項9に記載の変換行列の形成装置。

[請求項11]

データ検索のためのコンピュータプログラムであって、コンピュー

タを、

被検索対象データベースに含まれる被検索対象につき夫々の特徴量に対応する第1のインデックスD-1を第1の方法により特定する手段と、

前記被検索対象の第1のインデックスD-1の次元を請求項5又は請求項6に記載の装置により得られた変換行列により削減して、第2のインデックスD-2を特定する手段と、

検索対象につきその特徴量に対応する第1のインデックスC-1を前記第1の方法により特定し、前記特定された検索対象の第1のインデックスC-1の次元を前記変換行列により削減して、第2のインデックスC-2を特定し、

前記検索対象の第2のインデックスC-2を前記データベースに含まれる各被検索対象の第2のインデックスD-2と比較する手段と、

として機能させる、ことを特徴とするコンピュータプログラム。

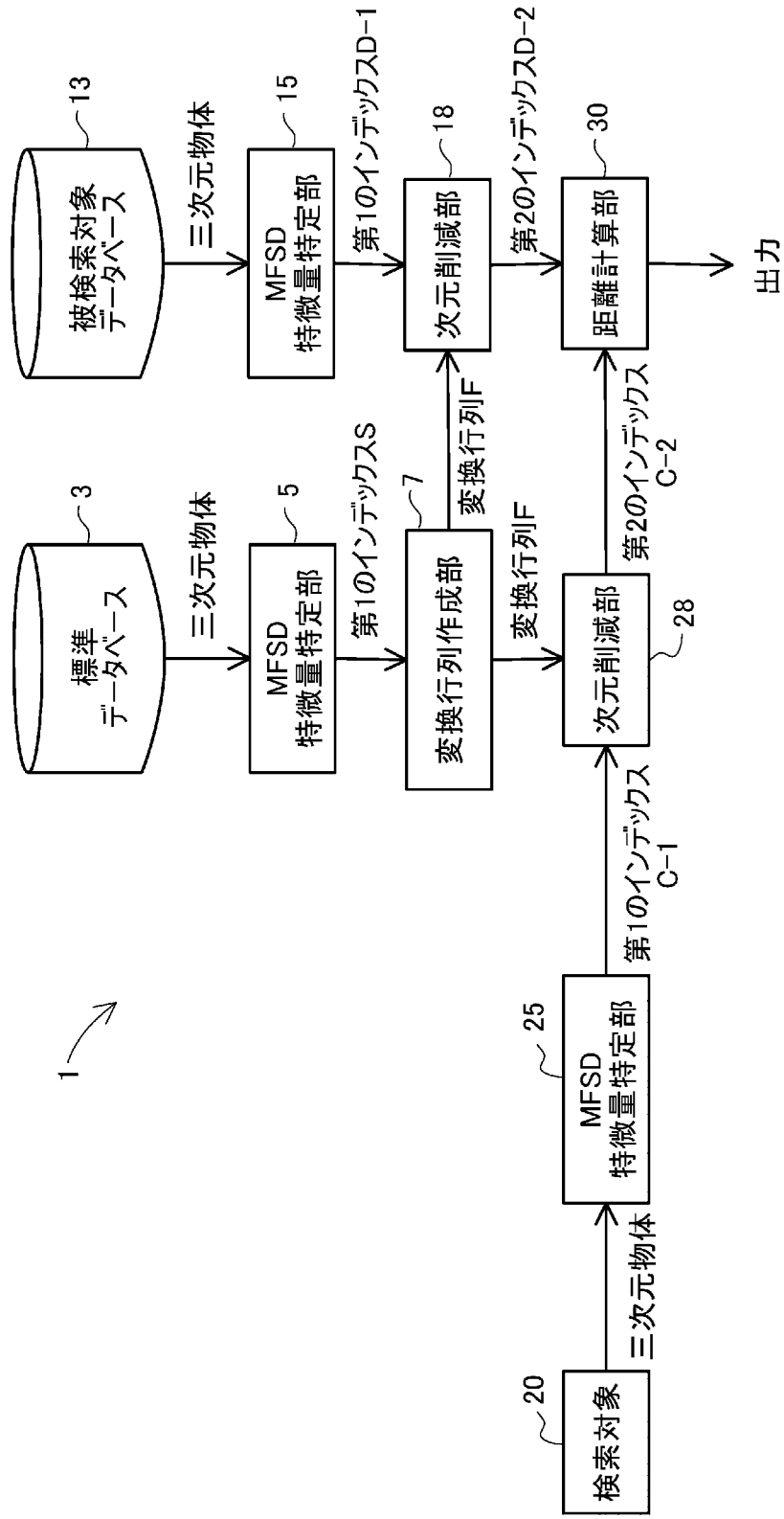
[請求項12]

前記被検索対象及び前記検索対象は三次元モデルであり、前記第1の方法はMFS D法である、ことを特徴とする請求項11に記載のコンピュータプログラム

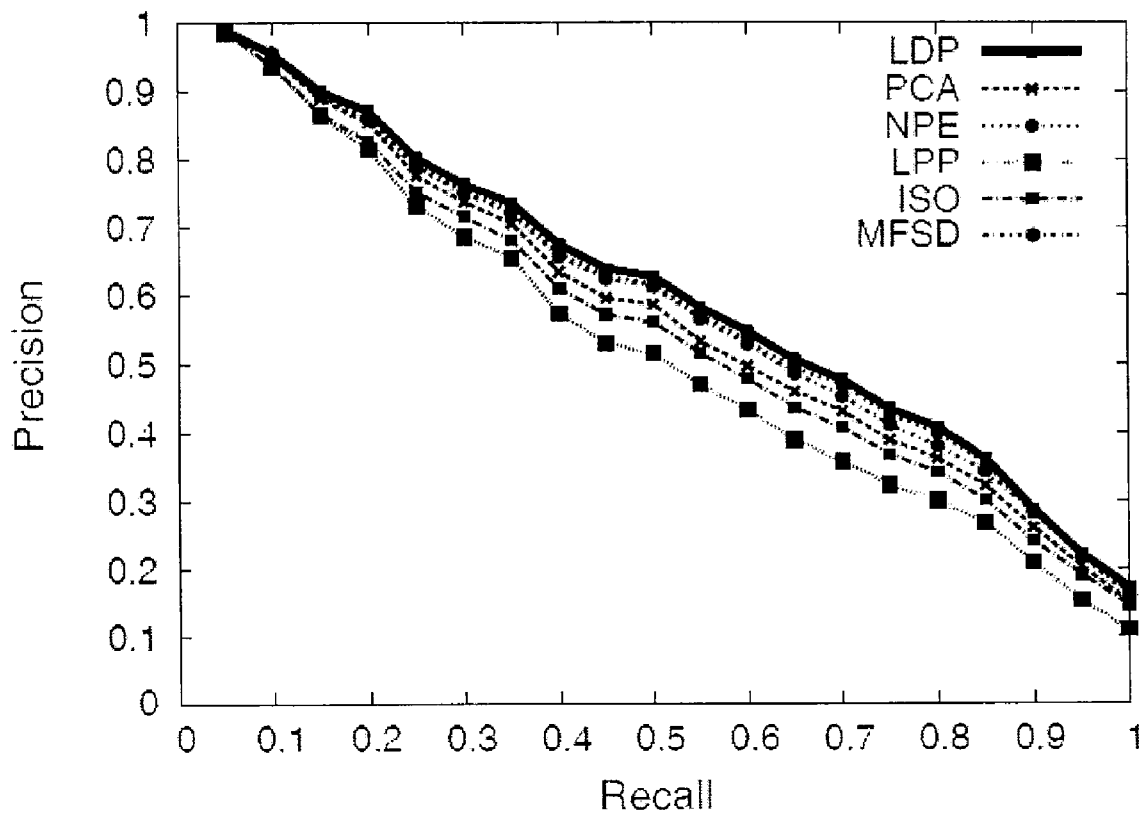
[請求項13]

請求項9～請求項12のいずれかに記載のコンピュータプログラムを記録する記録媒体。

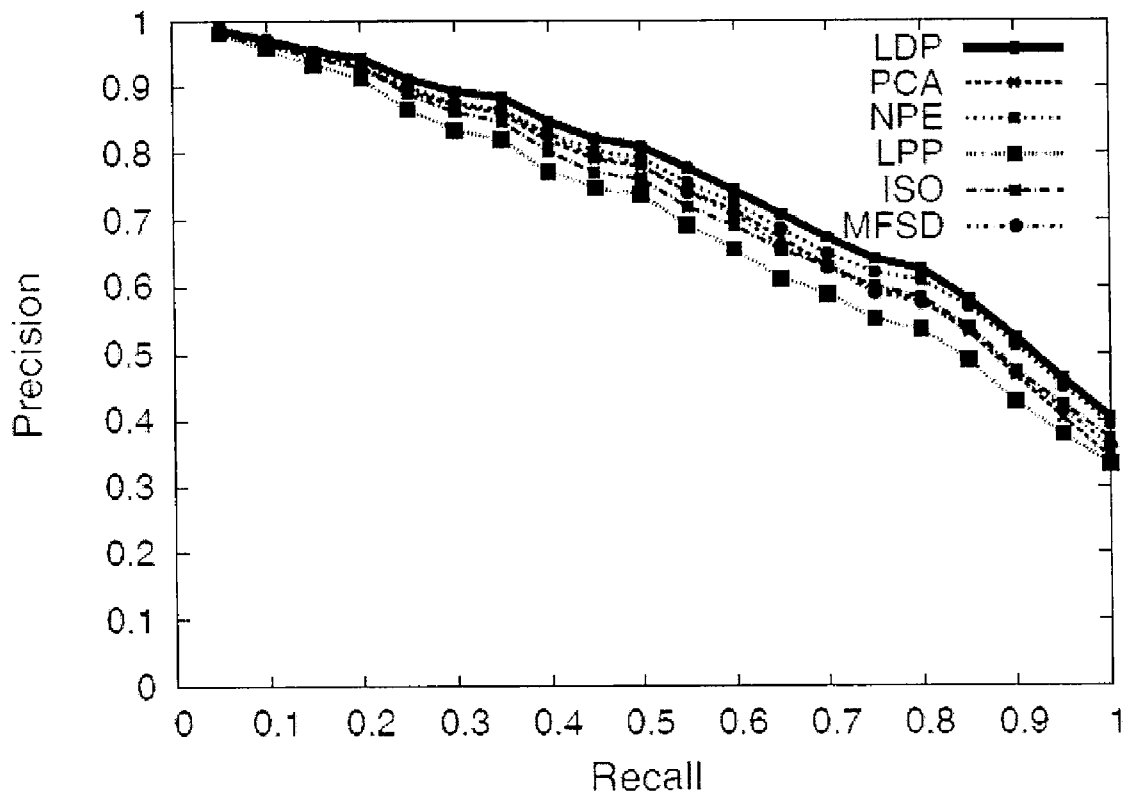
[図1]



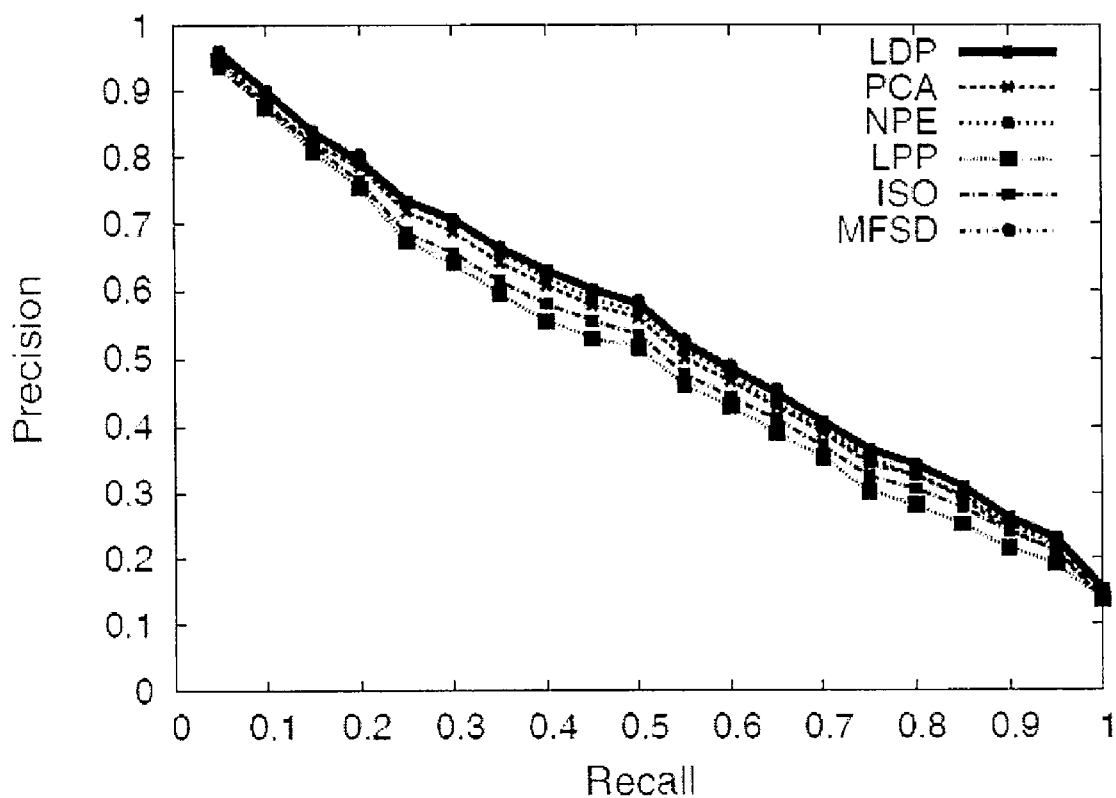
[図2]



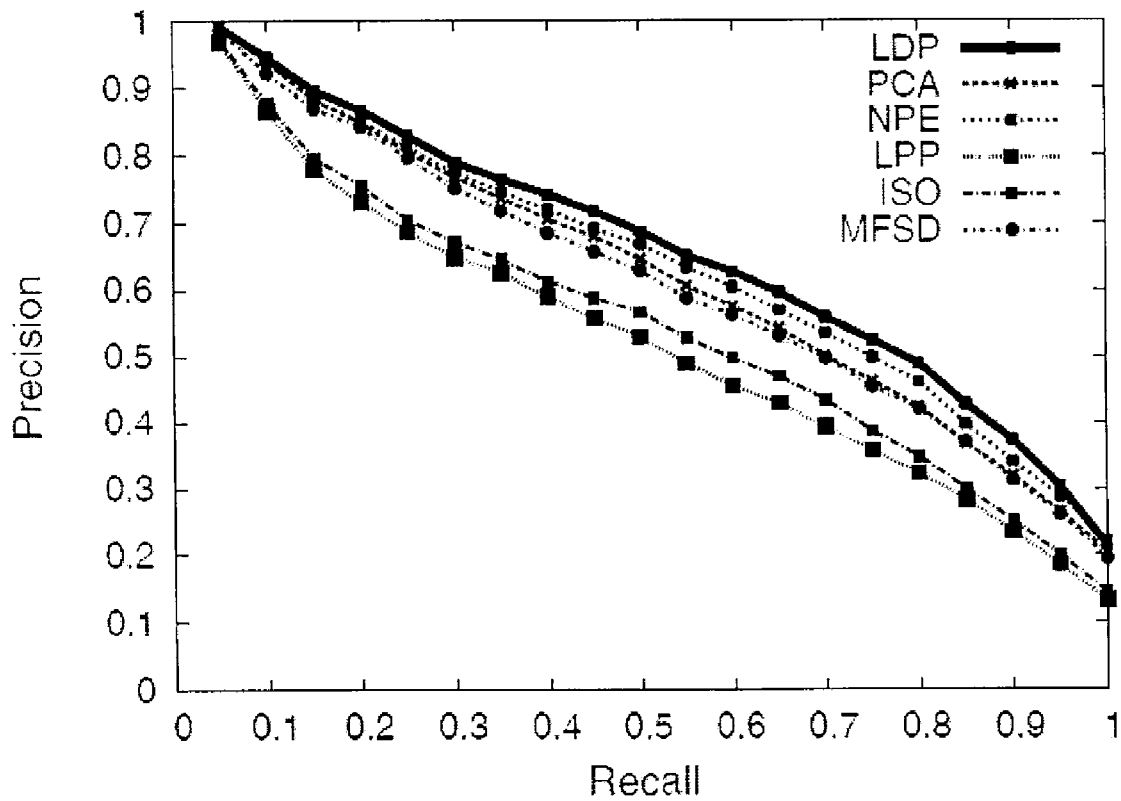
[図3]



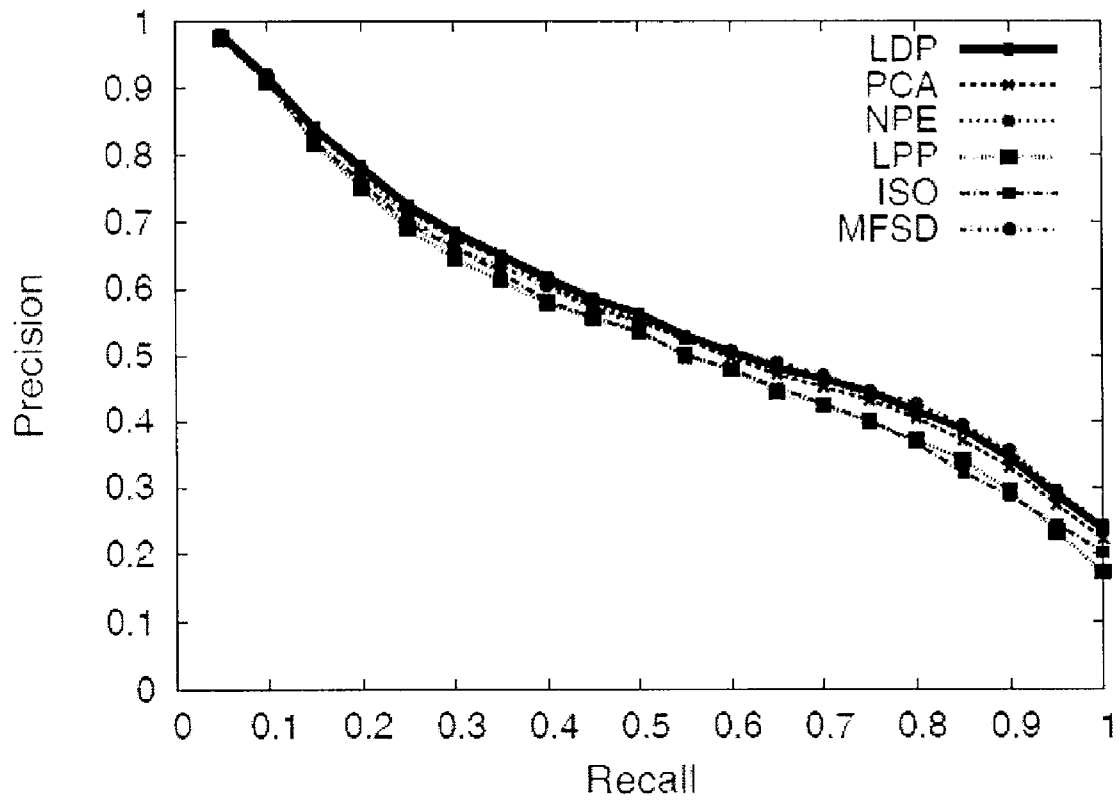
[圖4]



[圖5]



[圖6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/061078

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T1/00(2006.01) i, G06F17/30(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T1/00, G06F17/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Masaru NAKANO et al., "Linearized Diffusion Maps and its Application to Documents", Dai 72 Kai (Heisei 22 Nen) Zenkoku Taikai Koen Ronbunshu (2) Jinko Chino to Ninchi Kagaku, 08 March 2010 (08.03.2010), pages 2-465, 2-466	1-13
Y	Atsushi TATSUMA et al., "3D Shape Retrieval Using Manifold Ranking", Transactions of Information Processing Society of Japan, Ronbunshi Journal, 15 October 2008 (15.10.2008), vol.49, no.10, pages 3670 to 3681	1-13

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
10 June, 2011 (10.06.11)Date of mailing of the international search report
21 June, 2011 (21.06.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/061078

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	Atsushi TATSUMA et al., "Linear Diffusion Projections and Its Application to 3D Shape Retrieval", The Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 01 August 2010 (01.08.2010), vol.J93-D, no.8, pages 1590 to 1601	1-13
A	WO 2008/056757 A1 (National University Corporation Toyohashi University of Technology), 15 May 2008 (15.05.2008), paragraphs [0022] to [0031]; fig. 1 & US 2010/0054607 A & EP 2093714 A1	1-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G06T1/00(2006.01)i, G06F17/30(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G06T1/00, G06F17/30		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2011年 日本国実用新案登録公報 1996-2011年 日本国登録実用新案公報 1994-2011年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	仲野将, 外2名, "線形化拡散写像手法の提案とその文書データへの適用", 第72回(平成22年)全国大会講演論文集(2) 人工知能と認知科学, 2010.03.08, p.2-465, 2-466	1-13
Y	立間淳司, 外1名, "多様体ランキングを用いた三次元物体の形状類似検索", 情報処理学会論文誌 論文誌ジャーナル, 2008.10.15, 第49巻, 第10号, p.3670-3681	1-13
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 10.06.2011	国際調査報告の発送日 21.06.2011	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 千葉 久博 電話番号 03-3581-1101 内線 3531	5H 3991

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
P, X	立間淳司, 外 2 名, ” 線形拡散射影と三次元物体の形状類似検索への応用”, 電子情報通信学会論文誌, 2010.08.01, 第 J 9 3 -D 巻, 第 8 号, p.1590-1601	1-13
A	WO 2008/056757 A1 (国立大学法人豊橋技術科学大学) 2008.05.15, 段落【0022-0031】, 第 1 図 & US 2010/0054607 A & EP 2093714 A1	1-13