

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5322111号
(P5322111)

(45) 発行日 平成25年10月23日 (2013. 10. 23)

(24) 登録日 平成25年7月26日 (2013. 7. 26)

(51) Int. Cl.		F I		
G06F 17/30	(2006.01)	G06F 17/30	210D	
G06T 1/00	(2006.01)	G06F 17/30	350C	
		G06F 17/30	170B	
		G06T 1/00	200E	

請求項の数 1 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2009-540010 (P2009-540010)	(73) 特許権者	504173471
(86) (22) 出願日	平成20年10月23日 (2008. 10. 23)		国立大学法人北海道大学
(86) 国際出願番号	PCT/JP2008/069193		北海道札幌市北区北8条西5丁目
(87) 国際公開番号	W02009/060722	(74) 代理人	100083806
(87) 国際公開日	平成21年5月14日 (2009. 5. 14)		弁理士 三好 秀和
審査請求日	平成23年9月27日 (2011. 9. 27)	(74) 代理人	100101247
(31) 優先権主張番号	特願2007-288796 (P2007-288796)		弁理士 高橋 俊一
(32) 優先日	平成19年11月6日 (2007. 11. 6)	(72) 発明者	長谷山 美紀
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		北海道札幌市北区北14条西9丁目 国立 大学法人 北海道大学 大学院情報科学研究科内
		審査官	田中 幸雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 類似画像検索装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

クエリ画像に類似する画像を検索する類似画像検索装置であって、
複数の画像データと、前記画像データに関連するキーワードがそれぞれ関連づけられて記憶された画像データベースと、

前記画像データを読み出して、前記画像データのそれぞれに、前記キーワードの適合を示す指標である適合値を付与するとともに、前記適合値に基づいて、前記複数の画像データを複数のクラスタに分類し、各クラスタについて、このクラスタに属する画像データの画像特徴量およびキーワードの適合値を連結して生成されるベクトルを表現する基底に対応する固有ベクトルを算出するクラスタ分類部と、

前記固有ベクトルが張る非線形固有空間を、凸射影法の拘束条件に導入し、クエリ画像データの既知の画像特徴量のベクトルとの類似度を示す指標が最大となる前記非線形固有空間のクラスタを、クエリ画像データの属する最適クラスタとして選択し、

前記クエリ画像データのクラスタの前記非線形固有空間を用いて前記クエリ画像データに前記適合値を付与する最適クラスタ抽出部と、

前記最適クラスタによって選択されたクラスタに属する前記画像データの中から、前記適合値の類似度を示す指標が最も高い画像データを、類似画像として出力する類似画像抽出部

とを備えることを特徴とする類似画像検索装置。

【発明の詳細な説明】

10

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、クエリ画像に類似する画像を検索する類似画像検索装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年のブロードバンド通信の普及や記録媒体の大容量化、さらにデジタルカメラやイメージスキャナ等の普及に伴い、個人のユーザが扱う画像の量が増加している。これに伴って、効果的な画像検索手法の必要性が向上している。

【0003】

従来、画像検索手法として、画像に付与されたキーワード等の意味的特徴に基づく検索法が挙げられる。その他、データベース管理および情報検索の分野において多くの手法が提案されている。

10

【0004】

例えば、画像にキーワードを付与して、ユーザがキーワードを入力することにより、所望の画像を検索する方法がある。しかし、この方法では、画像に対してユーザがキーワード等を付与する必要がある。従って、その正確さによって検索性能が大きく変化するという問題が存在した。

【0005】

この問題を解決するために、画像のキーワードを自動的に付与する技術が期待されている。この方法の一つとして、画像データを取得したWebデータを解析して、キーワードを取得する方法がある（例えば、特許文献1参照。）。この特許文献1に記載の方法は、Webから取得した画像にキーワードを付与する場合に限られ、汎用的なものではない。

20

【0006】

また、近年クエリ画像（検索要求画像）としてサンプル画像を入力し、それに類似する画像を提示する手法(Content-Based Image Retrieval: CBIR) が種々提案されている（例えば、非特許文献1参照。）。非特許文献1等に記載の手法は、画像ごとに、色、テクスチャ、形状等の低いレベルの画像特徴量を算出する。そこで、非特許文献1等に記載の手法は、画像ごとの画像特徴量間で算出される距離を、画像間の距離とみなすことで、類似画像の検索を行う。すなわち、非特許文献1等に記載の手法は、ユーザが入力するクエリ画像と、画像特徴量が最も類似する画像を、類似画像として提示する。

30

【特許文献1】特開2006-277169号公報

【非特許文献1】A. A. Goodrum, "Image information retrieval: An overview of current research," Inf. Sci., vol.3, pp.63 - 66, 2000.

【発明の開示】

【0007】

しかしながら、単純に画像特徴量間において類似度を求める方法は、低いレベルの画像特徴量と、実際の意味的特徴との相関を考慮していないため、検索精度に限界が存在した。

【0008】

また、従来方法は、画像特徴量より限られた数のキーワードを画像に対応付けるのみである。従って従来方法は、明確な一つの意味を持たない画像や、被写体が一種類ではない画像において精度良く検索を行うことが困難である。

40

【0009】

従って本発明の目的は、画像の意味内容を考慮して、クエリ画像に類似する画像を高精度に検出する類似画像検索装置を提供することである。

【0010】

上記課題を解決するために、本発明の第1の特徴は、クエリ画像に類似する画像を検索する類似画像検索装置に関する。即ち、本発明の第1の特徴に係る類似画像検索装置は、複数の画像データと、画像データに関連するキーワードがそれぞれ関連づけられて記憶された画像データベースと、画像データを読み出して、画像データのそれぞれに、キーワー

50

ドの適合を示す指標である適合値を付与するとともに、適合値に基づいて、複数の画像データを複数のクラスタに分類し、各クラスタについて、このクラスタに属する画像データの画像特徴量およびキーワードの適合値を連結して生成されるベクトルを表現する基底に対応する固有ベクトルを算出するクラスタ分類部と、固有ベクトルが張る非線形固有空間を、凸射影法の拘束条件に導入し、クエリ画像データの既知の画像特徴量のベクトルとの類似度を示す指標が最大となる前線形固有空間のクラスタを、クエリ画像データの属する最適クラスタとして選択し、クエリ画像データのクラスタの非線形固有空間を用いてクエリ画像データに適合値を付与する最適クラスタ抽出部と、最適クラスタによって選択されたクラスタに属する画像データの中から、適合値の類似度を示す指標が最も高い画像データを、類似画像として出力する類似画像抽出部とを備える。

10

【0011】

本発明によれば、画像の意味内容を考慮して、クエリ画像に類似する画像を高精度に検出する類似画像検索装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置の機能ブロック図である。

【図2】図2は、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置のハードウェア構成図である。

【図3】図3は、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置において用いられる凸射影法における反復を説明する図である。

20

【図4】図4は、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置による類似画像検索処理の結果の一例を説明する図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

次に、図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。

【0014】

(最良の実施の形態)

本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置1は、クエリ画像に類似する画像を検索する。

30

【0015】

本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置1は、凸射影法を用いることで、各キーワードがクエリ画像にどの程度適合するかを表す指標(以降、適合値と呼ぶ)を推定し、その結果に基づいて類似画像を検索する。本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置1は、キーワードが付与されているデータベース中の画像から、以下の2つの新規要素を含む凸射影法を用いることで、クエリ画像に対して適合値の推定を可能とする。第1に、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置1は、データベース中の画像を、適合値に基づいて分類し、各クラスタ毎に算出される画像特徴量および適合値の非線形固有空間を、凸射影法の拘束条件に導入する。このとき用いられる非線形固有空間は、画像特徴量と適合値との相関を表現可能である。従って、類似画像検索装置1は、クエリ画像の画像特徴量のみから全てのキーワードの適合値を算出することが可能となる。第2に、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置1は、凸射影法の収束誤差に注目することで、クエリ画像の属するクラスタを選択する。これにより、類似画像検索装置1は、クエリ画像と類似した画像を含むクラスタの適応的選択が可能となる。従って、類似画像検索装置1は、最適なクラスタによりクエリ画像の適合値を算出することが可能となる。

40

【0016】

以上のようにして、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置1は、クエリ画像に対して、各キーワードの適合値を推定することが可能となる。類似画像検索装置1は

50

、データベース中の画像との適合値の距離を求めることで、高精度に類似画像の検索を行うことが可能となる。

【0017】

(類似画像検索装置のハードウェア構成)

図2に示すように、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置1において、中央処理制御装置101、ROM(Read Only Memory)102、RAM(Random Access Memory)103及び入出力インタフェース109が、バス110を介して接続されている。入出力インタフェース109には、入力装置104、表示装置105、通信制御装置106、記憶装置107及びリムーバブルディスク108が接続されている。

【0018】

中央処理制御装置101は、入力装置104からの入力信号に基づいてROM102から類似画像検索装置1を起動するためのブートプログラムを読み出して実行し、更に記憶装置107に記憶されたオペレーティングシステムを読み出す。更に中央処理制御装置101は、入力装置104や通信制御装置106などの入力信号に基づいて、各種装置の制御を行ったり、RAM103や記憶装置107などに記憶されたプログラム及びデータを読み出してRAM103にロードするとともに、RAM103から読み出されたプログラムのコマンドに基づいて、データの計算又は加工など、後述する一連の処理を実現する処理装置である。

【0019】

入力装置104は、操作者が各種の操作を入力するキーボード、マウスなどの入力デバイスにより構成されており、操作者の操作に基づいて入力信号を作成し、入出力インタフェース109及びバス110を介して中央処理制御装置101に送信される。表示装置105は、CRT(Cathode Ray Tube)ディスプレイや液晶ディスプレイなどであり、中央処理制御装置101からバス110及び入出力インタフェース109を介して表示装置105において表示させる出力信号を受信し、例えば中央処理制御装置101の処理結果などを表示する装置である。通信制御装置106は、LANカードやモデムなどの装置であり、類似画像検索装置1をインターネットやLANなどの通信ネットワークに接続する装置である。通信制御装置106を介して通信ネットワークと送受信したデータは入力信号又は出力信号として、入出力インタフェース109及びバス110を介して中央処理制御装置101に送受信される。

【0020】

記憶装置107は半導体記憶装置や磁気ディスク装置であって、中央処理制御装置101で実行されるプログラムやデータが記憶されている。リムーバブルディスク108は、光ディスクやフレキシブルディスクのことであり、ディスクドライブによって読み書きされた信号は、入出力インタフェース109及びバス110を介して中央処理制御装置101に送受信される。

【0021】

本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置1の記憶装置107には、類似画像検索プログラムが記憶されるとともに、画像データベース21およびクエリ画像データ22が記憶される。又、類似画像検索プログラムが類似画像検索装置1の中央処理制御装置101に読み込まれ実行されることによって、クラスタ分類部11、最適クラスタ抽出部12および類似画像抽出部13が類似画像検索装置1に実装される。

【0022】

(類似画像検索装置の機能ブロック)

図1に示すように、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置1は、画像データベース21、クラスタ分類部11、最適クラスタ抽出部12および類似画像抽出部13を備えている。

【0023】

画像データベース21には、複数の画像データと、画像データに関連するキーワードがそれぞれ関連づけられて記憶される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 4 】

クラスタ分類部 1 1 は、画像データベース 2 1 から、画像データを読み出して、画像データのそれぞれに、キーワードの適合を示す指標である適合値を付与する。さらにクラスタ分類部 1 1 は、適合値に基づいて、複数の画像データを複数のクラスタに分類する。クラスタ分類部 1 1 は、図 1 に示すように、画像データのそれぞれに付与された適合値に基づいて、各画像データを第 1 クラスタ C_1 、第 2 クラスタ C_2 …… 第 K クラスタ C_K に分類する。

【 0 0 2 5 】

最適クラスタ抽出部 1 2 は、クエリ画像データ 2 2 に適合値を付与するとともに、複数のクラスタから、各クラスタを用いた際に凸射影法で生じる誤差が最小になるように、クエリ画像データ 2 2 の属するクラスタを選択する。図 1 に示すように、最適クラスタ抽出部 1 2 は、クエリ画像データ 2 2 の適合値 2 4 を算出する。最適クラスタ抽出部 1 2 は、クラスタ分類部 1 1 によって生成された第 1 クラスタ C_1 、第 2 クラスタ C_2 …… 第 K クラスタ C_K の各クラスタのうち、クエリ画像データ 2 2 の適合値 2 4 の属するクラスタを決定し、最適クラスタ 2 5 として出力する。

10

【 0 0 2 6 】

類似画像抽出部 1 3 は、最適クラスタ抽出部 1 2 によって選択されたクラスタに属する画像データの中から、適合値の距離が小さな画像データを、類似画像データ 2 3 a、2 3 b、2 3 c …… として出力する。類似画像抽出部 1 3 は、最適クラスタ 2 5 に属する画像データを、クエリ画像データ 2 2 に類似する画像データ 2 3 a、2 3 b、2 3 c ……

20

【 0 0 2 7 】

(凸射影法)

ここで、本発明の最良の実施の形態で用いられる凸射影法を説明する。

【 0 0 2 8 】

凸射影法は、Y o u l a、W e b b らによって非線形の画像復元法として用いられた。凸射影法は、原画像 f H (H はヒルベルト空間を表す) に関する既知の特徴から、原画像を推定する手法である。今、原画像の n 種類の特徴を n 個の閉凸集合 C_k ($k = 1、2、$ ……、 n) で表したとき、それらの共通部分

【 数 1 】

$$\hat{C} = \bigcap_{k=1}^n C_k \quad \dots \text{式 (1)}$$

30

は閉凸集合となり、原画像 f を含む。

【 数 2 】

$$(f \in \hat{C})$$

40

【 0 0 2 9 】

したがって、任意の f_0 より

【 数 3 】

$$\hat{C}$$

に含まれる

【数 4】

 \hat{f}

を探索することは、原画像を近似した結果を得ることが可能とする。ただし、一般に

【数 5】

 \hat{C}

10

は非線形で構造が複雑であるため、容易に記述することはできない。

【0030】

したがって、そのような場合、

【数 6】

$$\|f - P_k f\| = \min_{g \in C_k} \|f - g\|$$

・・・式(2)

を満たす閉凸集合

20

【数 7】

$$C_k (k = 1, 2, \dots, n)$$

への射影要素 P_k を用いて、類似画像検索装置 1 は、

【数 8】

 \hat{f}

を算出する。

30

【0031】

具体的には、図 3 に示されるように

【数 9】

$$f_t = P_n P_{n-1} \dots P_2 P_1 f_{t-1} (t = 1, 2, \dots)$$

・・・式(3)

が繰り返し処理により

【数 10】

 \hat{C}

40

に含まれる

【数 11】

 \hat{f}

へ収束する性質を用いて、任意の f_0 から原画像を近似した結果が得られる。

【0032】

(凸射影法を用いた類似画像検索法の概要)

50

上述した凸射影法を用いることで、クエリ画像に対して各キーワードの適合値を算出し、その結果に基づいて類似画像を検索する方法の概要が説明される。本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、データベース中の画像に対して、あらかじめキーワードの適合値に基づいた分類を行う。さらに、類似画像検索装置 1 は、得られる分類結果から以下の 2 つの新規要素を含む凸射影法を用いることで、クエリ画像に対し、全てのキーワードの適合値を推定する。

【0033】

(i) 各クラス毎に算出される画像特徴量およびキーワードの適合値に関する非線形固有空間の、凸射影法の拘束条件への導入

(ii) 凸射影法の収束誤差に注目した、クエリ画像が属するクラスタの適応的選択

10

(i) において用いられる非線形固有空間は、画像特徴量とキーワードの適合値との相関を表現可能である。したがって、これを用いることで、クエリ画像の画像特徴量のみから各キーワードの適合値の推定が期待できる。さらに、(ii) を用いることで、クエリ画像と類似した画像を含むクラスタが決定され、適合値の算出に用いるクラスタの適応的選択が可能となる。以上のようにして得られる適合値を用いることで、本発明の最良の実施の形態では、データベース中よりクエリ画像に類似する画像の検索が可能となる。

【0034】

(各クラスタの非線形固有空間の算出)

ここでは、画像データベース中に存在する画像データに対してキーワードの適合値に基づく分類を行い、得られる各クラス毎に非線形固有空間の算出を行う処理が詳述される。この処理は、図 1 のクラスタ分類部 11 に対応する。

20

【0035】

ここで、画像データベース中に存在する N 枚の画像を f_i ($i=1, 2, \dots, N$) とし、これらの画像に付与された全てのキーワードが L 個であるとする。本発明の最良の実施の形態においては、類似画像検索装置 1 は、まず、各画像 f_i に対して各要素が 1 または 0 であるベクトル

【数 1 2】

$$\tilde{\mathbf{x}}_i = [\tilde{x}_i^1, \tilde{x}_i^2, \dots, \tilde{x}_i^L]'$$

30

を算出する。このとき、

【数 1 3】

$$\tilde{x}_i^l \quad (l = 1, 2, \dots, L)$$

は、画像 f_i が l 番目のキーワードを含む場合に 1、含まない場合に 0 となる。さらに、類似画像検索装置 1 が、得られる各ベクトル

【数 1 4】

$$\tilde{\mathbf{X}}_i$$

40

に対して、

【数 1 5】

$$\mathbf{x}_i = \frac{\tilde{\mathbf{X}}_i}{\|\tilde{\mathbf{X}}_i\|}$$

..... 式 (4)

を算出することで、各要素に各キーワードの適合値を含むベクトル \mathbf{x}_i を算出する。本発明の最良の実施の形態では、以上のベクトル \mathbf{x}_i を各画像 f_i の意味的特徴を含む特徴ベクトル

50

ルとみなし、類似画像検索装置 1 は、これを次式の C が最小となるように、 K 個のクラスタに分類する。

【数 16】

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N s(i, j) \| \mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j \|^2$$

・・・式 (5)

ただし、 $s(i, j)$ は画像 f_i と f_j が同一クラスタに属する場合に 1、異なるクラスタに属する場合に 0 となる。ここで、 $\| \mathbf{x}_i \|^2 = 1$ および $\| \mathbf{x}_j \|^2 = 1$ であることに注目すると、式 (5) は、

10

【数 17】

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N s(i, j) (2 - 2\mathbf{x}_i' \mathbf{x}_j)$$

・・・式 (6)

となる。式 (6) において、

20

【数 18】

$$\mathbf{x}_i' \mathbf{x}_j$$

は、画像 f_i および f_j が同一のキーワードを持つ割合が高くなる程、1 に近付き、同一のキーワードを持たない場合に 0 となる。したがって、指標 C は、同一のクラスタに属する画像間で、同一のキーワードを含む割合が高い場合に小さな値となる。従って、これを最小化することで、類似画像検索装置 1 は、キーワードの適合値に基づいた分類を行うことが可能となる。

【0036】

30

以上のようにして、類似画像検索装置 1 は、画像データベース中に存在する画像の分類が可能となる。具体的な分類処理としては、類似画像検索装置 1 は、最初に全ての画像を K 個のクラスタへランダムに分類する。さらに、類似画像検索装置 1 は、任意の 2 つの画像に対して属するクラスタを交換した結果、式 (6) が低くなる場合、これを新たなクラスタ配置として用いる。この処理を繰り返すことによって、類似画像検索装置 1 は、順次山登りの的に最適なクラスタ配置を求めることが可能となる。

【0037】

次に、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、各クラスタに属する画像から、その画像特徴量およびキーワードの適合値に関する非線形固有空間を算出する。まず本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、クラスタ k ($k = 1, 2, \dots, K$) に含まれる M^k 枚の画像

40

【数 19】

$$f_j^k \quad (j = 1, 2, \dots, M^k)$$

に対して、各画像を $B \times B$ 個のブロックに分割し、各ブロックに対してピン数が Q の色ヒストグラムを算出する。さらに、類似画像検索装置 1 は、全てのブロックで算出される色ヒストグラムを順に並べたベクトル

【数 2 0】

$$\mathbf{y}_j^k (\in \mathbb{R}^{QB^2})$$

を求め、これを非線形写像

【数 2 1】

$$\phi: \mathbb{R}^{QB^2} \rightarrow \mathbb{F}$$

により高次元特徴空間へ写像した

【数 2 2】

$$\phi(\mathbf{y}_j^k)$$

を得る。尚、

【数 2 3】

$$\phi(\mathbf{y}_j^k)$$

は、非常に高次元であり、これらを直接算出することは困難である。この問題を解決する計算技法として、カーネルトリックが存在する。この計算法では、任意の \mathbf{x}, \mathbf{y} (\mathbb{R}^{QB^2}) が与えられたとき、 $\phi(\mathbf{x})$ 、 $\phi(\mathbf{y})$ (\mathbb{F}) の内積

【数 2 4】

$$\phi(\mathbf{x})' \phi(\mathbf{y})$$

が、次式に示されるように、カーネル関数 $\kappa(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ によって \mathbf{x}, \mathbf{y} から算出される。

【数 2 5】

$$\phi(\mathbf{x})' \phi(\mathbf{y}) = \kappa(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

・・・式 (7)

尚、カーネル関数 $\kappa(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ には、Mercer の条件を満たす関数が用いられ、本文では次式のガウシアンカーネルを利用する。

【数 2 6】

$$\kappa(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2}{\sigma^2}\right)$$

・・・式 (8)

さらに、本発明の最良の実施の形態は、クラス k に属する画像 f_i の適合値のベクトル \mathbf{x}_i を

【数 2 7】

$$\mathbf{x}_j^k$$

で表し、

10

20

30

40

【数 2 8】

$$\mathbf{x}_j^k$$

および

【数 2 9】

$$\phi(\mathbf{y}_j^k)$$

から次式のベクトル

10

【数 3 0】

$$\mathbf{z}_j^k$$

を定義する。

【数 3 1】

$$\mathbf{z}_j^k = \begin{bmatrix} \phi(\mathbf{y}_j^k) \\ \mathbf{x}_j^k \end{bmatrix}$$

20

・・・式 (9)

ここで、上式のベクトル

【数 3 2】

$$\mathbf{z}_j^k$$

より、

【数 3 3】

$$\Xi^k = [\mathbf{z}_1^k, \mathbf{z}_2^k, \dots, \mathbf{z}_{M^k}^k]$$

30

を定義すると、 \mathbf{H}^k は、以下の特異値分解の式を満たす。

【数 3 4】

$$\Xi^k \mathbf{H}^k \cong \mathbf{U}^k \mathbf{\Lambda}^k \mathbf{V}^{k'}$$

・・・式 (10)

このとき、 \mathbf{H}^k は、 $M^k \times M^k$ の中心化行列である。また、

【数 3 5】

$$\mathbf{U}^k = [\mathbf{u}_1^k, \mathbf{u}_2^k, \dots, \mathbf{u}_{D^k}^k]$$

40

・・・式 (11)

および

【数 3 6】

$$\mathbf{V}^k = [\mathbf{v}_1^k, \mathbf{v}_2^k, \dots, \mathbf{v}_{D^k}^k]$$

・・・式 (12)

はそれぞれ、

【数 3 7】

$$\mathbf{\Xi}^k \mathbf{H}^k \mathbf{H}^k \mathbf{\Xi}^{k'}$$

および

【数 3 8】

$$\mathbf{H} \mathbf{\Xi}^{k'} \mathbf{\Xi}^k \mathbf{H}^k$$

を共分散行列とする D^k 次元の固有ベクトル行列である。 k はこれらの固有値行列である。式(10) で得られる U^k を用いることで、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、その固有ベクトル

10

【数 3 9】

$$\mathbf{u}_d^k (d = 1, 2, \dots, D^k)$$

によって張られる非線形固有空間へ、

【数 4 0】

$$\mathbf{z}_j^k$$

20

と同一次元の任意のベクトルを射影することが可能となる。ただし、行列 U^k は、各列

【数 4 1】

$$\mathbf{u}_d^k (d = 1, 2, \dots, D^k)$$

が高次元であり、直接算出することはできない。そこで、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、カーネルトリックを用いてこの問題を解決するため、特異値分解の式(10) から、

【数 4 2】

$$\mathbf{U}^k \cong \mathbf{\Xi}^k \mathbf{H}^k \mathbf{V}^k \mathbf{\Lambda}^{k-1}$$

30

・・・式(13)

を導出し、これを用いることで射影を可能とする。

【0038】

以上のようにして、本発明の最良の実施の形態においては、データベース中の画像を分類し、各クラスタについて非線形固有空間を算出することが可能となる。

【0039】

(凸射影法を用いた類似画像検索)

上述した処理によって得られる非線形固有空間を拘束条件に導入した凸射影法を用いることで、類似画像検索装置 1 は、画像特徴量のみが既知であるクエリ画像に対し、各キーワードの適合値を推定する。さらに、得られる適合値を用いることで、類似画像検索装置 1 は、データベース中よりクエリ画像に類似する画像の検索を可能とする。この処理は、図 1 の最適クラスタ抽出部 12 に対応する。

40

【0040】

本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、まず、データベース中の画像 f_i のベクトル y_i と同様に、クエリ画像 f に対して y を算出する。また、データベース中の画像 f_i のベクトル x_i と同様に、クエリ画像 f の適合値が未知であるベクトルを x とし、 z は次式のように定義される。

【数 4 3】

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} \phi(\mathbf{y}) \\ \mathbf{x} \end{bmatrix} \dots \text{式 (14)}$$

さらに、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、ベクトル \mathbf{z} に対して以下の 2 つの拘束条件を満たす

【数 4 4】

$$\hat{\mathbf{z}}$$

を算出することで、未知のベクトル \mathbf{x} の推定を行う。

【0041】

[拘束条件1]

ベクトル \mathbf{y} は、クエリ画像から直接算のベクトルであり、変化しない。

【0042】

[拘束条件2]

高次元特徴空間においてベクトル

【数 4 5】

$$\hat{\mathbf{z}}$$

は、クラス k の固有ベクトル

【数 4 6】

$$\mathbf{u}_1^k, \mathbf{u}_2^k, \dots, \mathbf{u}_{D^k}^k$$

によって張られる固有空間内に存在し、次式を満たす。

【数 4 7】

$$\hat{\mathbf{z}} = \mathbf{U}^k \mathbf{U}^{k'} \hat{\mathbf{z}}$$

・・・(式15)

ただし、上式は、式(13)より次式のように変形される。

【数 4 8】

$$\hat{\mathbf{z}} = \Xi^k \mathbf{H}^k \mathbf{V}^k \Lambda^{k-2} \mathbf{V}^k \mathbf{H}^{k'} \Xi^{k'} \hat{\mathbf{z}}$$

・・・(式16)

【0043】

本発明の最良の実施の形態では、以上の 2 つの拘束条件を満たす閉凸集合をそれぞれ C_1 、 C_2 とし、類似画像検索装置 1 は、 \mathbf{z} を初期ベクトルとして凸射影法により収束する

【数 4 9】

$$\hat{\mathbf{z}}$$

を推定結果として出力する。ここで、[拘束条件1] に注目して

10

20

30

40

【数 5 0】

$$\hat{\mathbf{z}} = [\phi(\mathbf{y})', \hat{\mathbf{x}}']'$$

とおくと、式(16)は

【数 5 1】

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \phi(\mathbf{y}) \\ \hat{\mathbf{x}} \end{bmatrix} &= \Xi^k \mathbf{H}^k \mathbf{V}^k \Lambda^{k-2} \mathbf{V}^k \mathbf{H}^{k'} \begin{bmatrix} \Xi_y^{k'} & \mathbf{X}^{k'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi(\mathbf{y}) \\ \hat{\mathbf{x}} \end{bmatrix} \\ &= \Xi^k \mathbf{H}^k \mathbf{V}^k \Lambda^{k-2} \mathbf{V}^k \mathbf{H}^{k'} \left(\Xi_y^{k'} \phi(\mathbf{y}) + \mathbf{X}^{k'} \hat{\mathbf{x}} \right) \end{aligned} \quad 10$$

・・・式(17)

と変形される。ただし、

【数 5 2】

$$\Xi_y^k = [\phi(\mathbf{y}_1^k), \phi(\mathbf{y}_2^k), \dots, \phi(\mathbf{y}_{M^k}^k)] \quad 20$$

・・・式(18)

および、

【数 5 3】

$$\mathbf{X}^k = [\mathbf{x}_1^k, \mathbf{x}_2^k, \dots, \mathbf{x}_{M^k}^k] \quad \dots \text{式(19)}$$

であり、式(17)の

【数 5 4】

$$\Xi_y^{k'} \phi(\mathbf{y})$$

は次式で与えられる。

【数 5 5】

$$\begin{aligned} \Xi_y^{k'} \phi(\mathbf{y}) &= [\phi(\mathbf{y}_1^k), \phi(\mathbf{y}_2^k), \dots, \phi(\mathbf{y}_{M^k}^k)]' \phi(\mathbf{y}) \\ &= [\phi(\mathbf{y}_1^k)' \phi(\mathbf{y}), \phi(\mathbf{y}_2^k)' \phi(\mathbf{y}), \dots, \phi(\mathbf{y}_{M^k}^k)' \phi(\mathbf{y})]' \\ &= [\kappa(\mathbf{y}_1^k, \mathbf{y}), \kappa(\mathbf{y}_2^k, \mathbf{y}), \dots, \kappa(\mathbf{y}_{M^k}^k, \mathbf{y})]' \end{aligned} \quad 40$$

・・・式(20)

したがって、ベクトル

【数 5 6】

$$\hat{\mathbf{X}}$$

は、以下の

【数 5 7】

$$\hat{\mathbf{X}}_t$$

の算出を繰り返すことで求められることが可能となる。

【数 5 8】

$$\hat{\mathbf{x}}_t = \mathbf{X}^k \mathbf{H}^k \mathbf{V}^k \mathbf{\Lambda}^{k-2} \mathbf{V}^k \mathbf{H}^{k'} \left(\mathbf{\Xi}_y^{k'} \phi(\mathbf{y}) + \mathbf{X}^{k'} \hat{\mathbf{x}}_{t-1} \right)$$

・・・式 (21)

【0044】

以上のようにして、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、ベクトル

【数 5 9】

$$\hat{\mathbf{X}} = [\hat{\mathbf{x}}^1, \hat{\mathbf{x}}^2, \dots, \hat{\mathbf{x}}^L]'$$

を算出することが可能となり、クエリ画像に対して l 番目のキーワードの適合値

【数 6 0】

$$\hat{\mathbf{x}}^l$$

を得ることができる。

【0045】

ここで、本発明の最良の実施の形態の[拘束条件2]において用いられる非線形固有空間に注目すると、この固有空間は、高次元特徴空間に存在する同次元の部分空間の中で、同一のクラスタに属するベクトル

【数 6 1】

$$\mathbf{z}_j^k \quad (j = 1, 2, \dots, M^k)$$

を最小二乗近似する。したがって、ベクトル \mathbf{z} が属するクラスタが既知である場合、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、その非線形固有空間を用いて

【数 6 2】

$$\hat{\mathbf{X}}$$

を推定し、キーワードの適合値を精度良く算出することが可能となる。ただし、本発明の最良の実施の形態において、クエリ画像の各キーワードの適合値は未知であるため、類似画像検索装置 1 は、属するクラスタを式(6)に基づいて決定することではできない。そこで、この問題を解決するため、本発明の最良の実施の形態では、凸射影法により既知のベクトル \mathbf{y} において収束する以下の二乗誤差

【数 6 3】

$$\tilde{C}^k = \|\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}\|^2$$

・・・式 (22)

に注目し、類似画像検索装置 1 は、これを最小とするクラスタをクエリ画像が属するクラスタとして選択する。尚、式(22)中の

【数 6 4】

$$\hat{\mathbf{y}}$$

は、

10

20

30

40

【数 6 5】

$$\phi(\hat{\mathbf{y}}) = \Xi_{\mathbf{y}}^k \mathbf{H}^k \mathbf{V}^k \Lambda^{k-2} \mathbf{V}^k \mathbf{H}^{k'} \left(\Xi_{\mathbf{y}}^{k'} \phi(\mathbf{y}) + \mathbf{X}^{k'} \hat{\mathbf{x}} \right)$$

・・・式(23)

を満たす。さらに、ガウシアンカーネルの式(8)より、

【数 6 6】

$$\phi(\mathbf{y})' \phi(\hat{\mathbf{y}}) = \exp \left(-\frac{\|\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}\|^2}{\sigma^2} \right)$$

10

・・・式(24)

であることから、式(22)の

【数 6 7】

$$\tilde{C}^k$$

は、次式のように変形される。

【数 6 8】

$$\begin{aligned} \tilde{C}^k &= -\sigma^2 \log \{ \phi(\mathbf{y})' \phi(\hat{\mathbf{y}}) \} \\ &= -\sigma^2 \log \{ \phi(\mathbf{y})' \Xi_{\mathbf{y}}^k \mathbf{H}^k \mathbf{V}^k \Lambda^{k-2} \mathbf{V}^k \mathbf{H}^{k'} \Xi_{\mathbf{y}}^{k'} \\ &\quad \left(\Xi_{\mathbf{y}}^{k'} \phi(\mathbf{y}) + \mathbf{X}^{k'} \hat{\mathbf{x}} \right) \} \end{aligned}$$

20

・・・式(25)

【0046】

このようにして算出される指標

【数 6 9】

$$\tilde{C}^k$$

は、凸射影法の拘束条件より、クエリ画像のベクトル

【数 7 0】

$$\hat{\mathbf{z}}$$

とクラスタ k の非線形固有空間との最小距離となる。したがって、本発明の最良の実施の形態では上記指標を用いることで、類似画像検索装置 1 は、クエリ画像と類似した画像を含むクラスタの適応的選択を行うことが可能となる。

40

【0047】

最後に本発明の最良の実施の形態では、類似画像検索装置 1 は、選択されたクラスタを用いて得られるベクトル

【数 7 1】

$$\hat{\mathbf{x}}$$

の要素をクエリ画像の最終的なキーワードの適合値とする。

【0048】

以上のようにして、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、クエリ画

50

像に対してキーワードの適合値を算出することが可能となる。さらに、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、適合値のベクトル

【数 7 2】

$$\hat{\mathbf{x}}$$

を用い、同一のクラスタに属するデータベース中の画像の中から、以下の指標 S_i を最小とする画像を順にクエリ画像に類似する画像として出力する。

【数 7 3】

$$\begin{aligned} S_i &= \|\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}_i\|^2 \\ &= 2 - 2\hat{\mathbf{x}}' \mathbf{x}_i \end{aligned}$$

10

・・・式 (26)

これにより、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、キーワードの適合値に基づいた画像の検索を行うことが可能となり、画像の内容に基づいた類似画像の検索が実現される。

【0049】

(効果)

20

次に、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 の性能を評価するため実験が示される。

【0050】

実験には 5000 枚の画像データベースが、用いられる。尚、各画像は 30~40 個のキーワードが付与されている。画像データベース中に存在する全てのキーワードの総数は 4847 個である。具体的には、本実験において類似画像検索装置 1 は、画像データベースから、図 4 に示すクエリ画像 Q1 に類似する画像を検索する。クエリ画像 Q1 は、赤く紅葉したもみじの葉 (図 4 中において、赤は白抜き表示) の画像である。

【0051】

これらの画像に対して、類似画像検索装置 1 は、キーワードの適合値に基づいた分類を行い、25 個のクラスタを生成する。さらに、図 4 は、クエリ画像 Q1 に対して、凸射影法により類似画像の検索を行った結果を示す。尚、図 4 は、クエリ画像 Q1 に対して式 (27) で算出される距離が小さな上位 9 件の検索結果を示している。この検索結果のうち、類似画像 G9 は、黄色いいちじくの葉 (図 4 中において、黄色はハッチング表示) が含まれている。

30

【0052】

この結果より、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 ではクエリ画像に対して、内容が類似する画像の検索が可能であることが、確認される。

【0053】

従来の画像内容に基づく検索方法は、クエリ画像に対して画像特徴量が最も類似する画像を検索する。したがって、これらの手法では低いレベルの画像特徴量と、実際の意味的特徴間における相関を用いることが困難なため、検索精度に限界が存在する。例えば、画像の色情報を用いることにより、同じ紅葉を示す画像でも、赤く紅葉したものと、黄色く紅葉したものは、類似画像でないと判断されてしまう。このように、従来の検索方法では、クエリ画像と同一の内容を含む、すなわち、紅葉の画像であるにも関わらず、画像特徴量が大きく異なるため、類似画像として検索することが困難である。

40

【0054】

これに対して、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、クエリ画像の画像特徴量から、凸射影法によりキーワードの適合値の推定を可能とする。さらに、得られるキーワードの適合値を用いてデータベース中の画像間との距離を算出することで、類

50

似画像検索装置 1 は、画像特徴が大きく異なる画像についても、同一の内容を含む場合には、それらを類似画像として検索することが可能となる。したがって、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、図 4 に示されるように、内容が類似する画像を検索することができる。

【 0 0 5 5 】

このように、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、凸射影法を用いた画像内容に基づく類似画像検索方法を実現した。本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、データベース中に存在する画像を分類し、各クラスタの画像特徴量およびキーワードの適合値について算出される非線形固有空間を、凸射影法の拘束条件に導入した。その結果、類似画像検索装置 1 は、画像特徴量のみが既知であるクエリ画像に対して、凸射影法によりキーワードの適合値を算出することが可能となった。

10

【 0 0 5 6 】

さらに、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、凸射影法により収束する誤差を最小とするクラスタを適応的に選択することで、クエリ画像と類似した画像を含むクラスタから適合値を算出することが可能となった。

【 0 0 5 7 】

以上のようにして得られるキーワードの適合値を用いることで、本発明の最良の実施の形態に係る類似画像検索装置 1 は、クエリ画像と類似した内容を含む画像の検索が可能となった。

【 0 0 5 8 】

20

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明の最良の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなる。

【 0 0 5 9 】

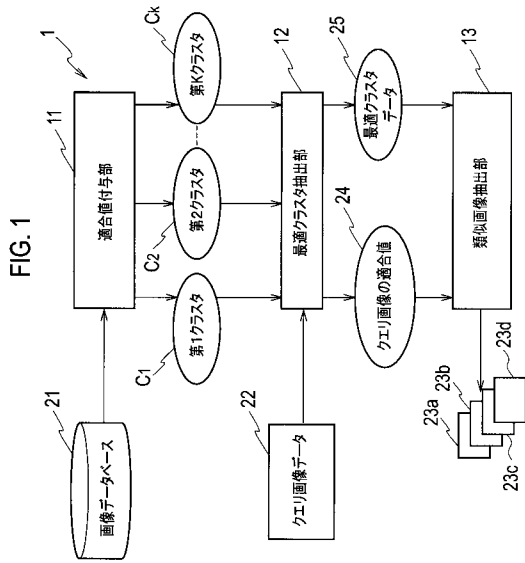
例えば、本発明の最良の実施の形態に記載した類似画像検索装置は、図 1 に示すように一つのハードウェア上に構成されても良いし、その機能や処理数に応じて複数のハードウェア上に構成されても良い。又、既存の情報システム上に実現されても良い。

【 0 0 6 0 】

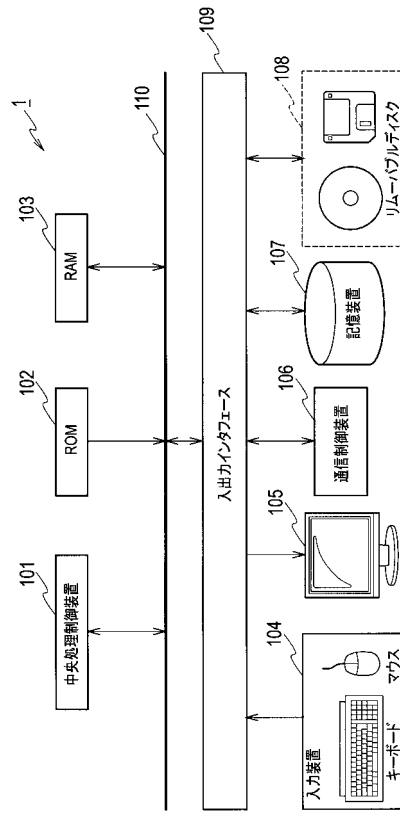
本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を含むことは勿論である。従って、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によつてのみ定められるものである。

30

【 図 1 】

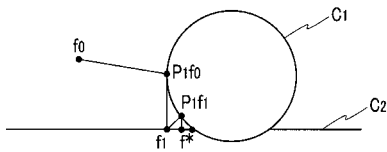


【 図 2 】



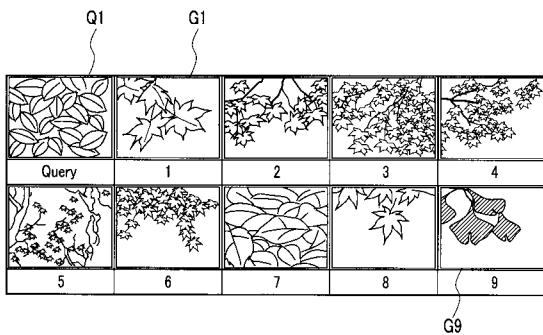
【 図 3 】

FIG. 3



【 図 4 】

FIG. 4



フロントページの続き

- (56)参考文献 小川貴弘ほか，凸射影法を持ちた静止画像中に存在する輝度値消失領域の復元に関する考察 拘束条件に用いる局所画像の分類に関する検討，映像情報メディア学会技術報告，日本，(社)映像情報メディア学会，2006年10月，Vol.30 No.55，83-86頁
多田昌裕ほか，MILを用いた視覚的印象の分析・学習と画像自動分類への応用，情報処理学会研究報告，日本，社団法人情報処理学会，2006年 3月16日，Vol.2006 No.25，13-18頁

(58)調査した分野(Int.Cl.，DB名)

G 0 6 F 1 7 / 3 0

G 0 6 T 1 / 0 0