

陶磁器を対象とした3次元実物体データの類似検索

西村 剛, 紺谷 精一, 片岡 良治, 芳西 崇
NTTサイバースペース研究所
go@isl.ntt.co.jp

あらまし

個人が簡単に3次元モデルを生成, 利用することが可能となり, 今後一般に流通するモデルデータが増えることが予想され, 大量の3次元モデルデータを扱う技術が重要になっている. 我々は, 大量のモデルデータの中から, 概観の似たモデルデータを高速に検索する3次元物体類似検索システムの実現を目指している.

今回我々は, 和食器を対象として, 500点余りの陶磁器による3次元物体データベースを構築. 実物体を対象に主観に沿った類似検索を実現する方法および部分に着目した検索を実現する方法の検討をおこない, 類似検索システムを実装した.

キーワード 類似検索 3次元形状 マルチメディアデータベース

The Shape Similarity Search System for Japanese Tableware

Go NISHIMURA, Seiichi KONYA, Ryoji KATAOKA, Takashi HONISHI
NTT Cyber Space Laboratories
go@isl.ntt.co.jp

Abstract With the growth of computer power and network communications, it is expected that modeling and reuse of real world objects will increase and that it will become important to be able to search and manage a large amount of 3D model data. We are studying 3D shape similarity search techniques and developing a fast 3D object retrieval system for a large amount of model data. We implemented the system so it could retrieve based on the shape similarity of pottery and porcelain tableware of a Japanese style. The shape retrieval is done according to level of detail and from the two or more viewpoints. This system currently holds multiple shape features for over 500 pottery and porcelain samples in its 3D model database.

key words similarity search, 3D shape, multimedia database

1.はじめに

奥行き情報の取得できるカメラや3次元スキャナ等、3次元形状取得装置の小型化、携帯化が進んでおり、また、複数のアングルで撮影した2次元画像をもとに3次元形状を復元するソフトウェア技術等の研究も進んでいる。こうした中、大量の3次元モデルデータを扱う技術が重要になっている。

我々は、大量のモデルデータの中から、概観の似たモデルデータを高速に検索することが可能なシステムの実現を目指している。3次元モデルの形状特徴を抽出してデータベースに格納し、データベース内の特徴空間で類似検索をおこなうことで類似した3次元形状を検索する方式を研究している。これまでに、より少ない次元で効率的に類似検索を実現することを目指し、市販の3DCGモデル素材集を用いてデータベースを作成し、複数の形状特徴における次元数と検索精度の関係を調べ、検索システムの実装および評価をおこなった[1]。

今回、我々は、実世界の日用の物体を検索することを目的とし、3Dディジタイザで作成したCGモデルの類似検索システムを構築した。日用の物体として和食器をテーマに、各地の陶磁器500点余りを収集、生成した3次元モデルを対象に、データベースを構築、類似検索システムを実装した。

生活に密着した身近な物体の類似検索においては、検索の目的および観点はより多様になり、利用者ごとの主観に沿った検索を実現する必要がある。本システムでは特に利用者の主観に対応するために、注視する部分および形状と色の重み付けを利用者が選択可能にし、平易に検索の観点を変更しながら類似検索を実現する機構を実装した。

2.システムのねらい

本システムは、以下の3点を実現することを主な目的とした。

- ・実世界の物体を対象とした検索の実現
- ・部分に着目した検索の実現
- ・利用者の観点を反映した検索の実現

2.1 実世界の物体を対象とした検索の実現

CAD部品データ等、モデリングソフトを用いて作成された3次元モデルを対象とした類似形状検索がある[2,3,4,5]。これは、市販のモデリングソフト用の素材集、あるいは工業部品のCADデータが大量に出回っており、データセットを比較的平易に構築できること、また、大量に用意された3次元モデルの中から所望のデータを検索するニーズが存在していることによる。我々は、こうしたモデリングソフト等の支援を受け人手によって生成されたモデルデータを対象とするのではなく、実世界の日用品を対象とした類似検索方式の検討を行っている。今回我々は、陶磁器を対象として、実物をもとに3Dディジタイザを用いて作成したモデルより形状およびテクスチャに関する特徴を抽出、類似検索をおこなうシステムを構築した。

3Dディジタイザを用いて作成するモデルの特徴として、ポリゴンの頂点あるいは点群の点の分布が細かく、ポリゴンリダクションの処理をおこなわない条件では、平面も曲面も同様の細かさで表現されるという点がある。また、形状と合わせて表面テクスチャを取得する光学式のディジタイザにおいては、表面テクスチャを細かく取得することが可能である。これら2つの点を活かした特徴を抽出することに留意した。

物体の3次元形状を取得するためには、表現する物体の形状と表面テクスチャを精密にモデリングすることが必要であるが、複雑なモデルの形状を取得するのは手間のかかる作業となる。この為レーザーレンジファインダなどの装置を用いて形状入力を行う方法もあるが、これらの装置は多大な労力が必要、あるいは装置が大がかりかつ高価という問題がある。またレーザー光を利用したディジタイザでは、黒色の物体あるいは反射率の高い磁器等の物体の入力は困難である。

本システムで用いるCGモデルは、シルエット輪郭線から3次元形状を再構成する市販の非接触型ディジタイザを用いて作成した。このディジタイザは、輪郭投影法による3次元測定をおこなう機能を持っている。画像をもとにモデルの再構築をおこなう為、全周囲のテクスチャ情報を取得す

ることができる。一方、比較的安価なシステムであり、精度の低い汎用デジタルカメラを使用しているため、テクスチャの画質やモデルの精度が荒いという欠点がある。また、輪郭投影法により回転させた物体のシルエットをもとに形状をモデリングしている為、器の内側等、シルエットとして表れない部分はモデルとして表現されない。この為、今回は器の内側の情報を利用することはあきらめ、器の表面部分の形状およびテクスチャのみを利用して特徴を抽出した。図1に作成したモデルの例を示す。

2.2 部分に着目した検索の実現

我々がある物体と別な物体が類似している、という判断をするには、全体が類似している場合と、部分が類似している場合の2種類を分けて考える必要がある。これは画像検索において、たとえば

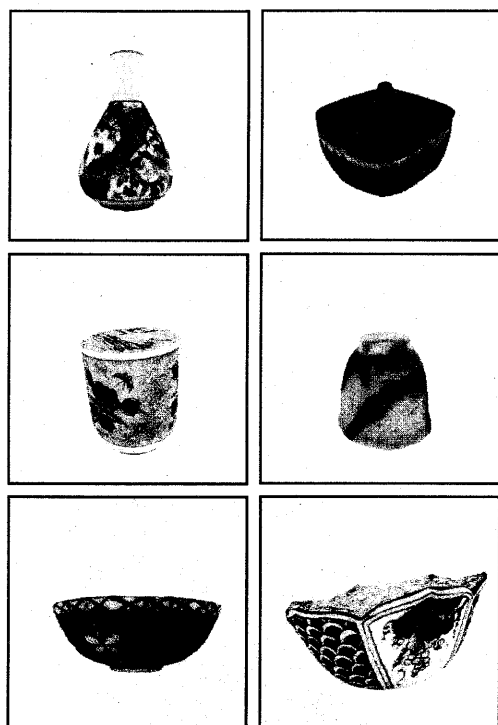


図1. 作成した陶磁器モデルの例

「スキー場のゲレンデの写真」といった具合に全体の特徴が類似していれば良い場合と、「赤いウェアを着たスキーヤーが滑っている写真」といった具合に、画像の特定の部分が類似している必要がある場合に相当する。形状より部分を切り出す領域分割方式に関しては、法線ベクトルを用いて大局的に分割する等の手法があるが、本システムでは、単純にモデルを囲む外接直方体を n^3 に等分割する方式を用いた。以降この等分割された領域をセルと呼ぶ。分割した各々のセルごとに特徴を抽出し、このセル単位あるいは複数のセルの集合を検索対象領域として指定することによって、部分に着目した類似検索を実現する。

2.3 利用者の観点を反映した検索の実現

類似度の判定は、利用者の観点、すなわち主観に依存する。工業部品の形状検索等では、求める部品の必要要件を明確にすることで客観的な判断も可能となるが、本システムの対象とする実世界の日用品の検索においては、利用者の意図・観点に応じた柔軟な検索を実現する仕組みが必要となる。

一般的に、特徴空間における距離演算より類似度を求める検索において、各特徴の重み付けは重要な要素であり、検索キー、検索対象、検索目的に応じて、経験に基づくチューニングが必要である。本システムでは、類似検索に用いる検索パラメータである各特徴量の重み付けを利用者に直接指定させるのではなく、予め一般的な検索の観点と、その観点を反映しやすい特徴量の組み合わせを定義しておき、観点の重視度合いを指定することで、特徴量の重み付けを決定する仕組みを用意した。

3. 形状特徴の抽出

類似検索をおこなう場合、回転を含めて類似とするか否かによって特徴の選定も異なる。今回は、回転を含めずに、物体の正面をモデル作成時に統一し、外接直方体の大きさをもとにモデルデータのサイズを標準化した後に、全体形状および部分形状の特徴の抽出をおこなった。

3.1 全体形状特徴の抽出

3角形ポリゴンによって構成されるメッシュデータより、ポリゴンの頂点とそれらを結ぶ線分を物理特徴として採用した。

3.1.1 頂点座標

モデルデータの全ポリゴンの頂点の分布を特徴とする。物体を囲む外接直方体を n^3 に等しく分割し、各セルに含まれる頂点の度数を、全頂点数で割り、式(1)のように形状特徴をベクトル $\mathbf{p}$ で表す。 n は外接立方体の一辺の分割数を表し、 i, j, k は、セルの位置を表す番号である。

$$\mathbf{p} = (p_{111}, p_{112}, \dots, p_{ijk}, \dots, p_{nnn}) \quad i, j, k = 1, \dots, n \quad (1)$$

3.1.2 重心距離

物体を囲む外接直方体重心と各ポリゴンの重心との距離の分布を特徴とする。物体を囲む外接直方体重心と各ポリゴン重心とのX,Y,Z軸それぞれについて、距離の分布を離散化する。外接直方体の頂点と重心の距離を n 等分し、各ポリゴンについて重心が含まれる区間に、ポリゴンの面積を足しこんだ。これを各区間の積算値で割り、式(2)のように形状特徴をベクトル $\mathbf{g}$ で表す。 n は外接直方体の頂点と重心間の分割数を表し、 g^x, g^y, g^z は、それぞれX軸、Y軸、Z軸における距離のヒストグラムを表す。

$$\mathbf{g} = (g^x_1, \dots, g^x_n, g^y_1, \dots, g^y_n, g^z_1, \dots, g^z_n) \quad (2)$$

単純に外接直方体重心と各ポリゴンとの距離の分布を離散化したのでは、たとえば曲率をもとにポリゴンリダクションがおこなわれた場合、平面に近いほど構成するポリゴンの面積は大きくなる。面積に偏りがある場合、モデルの概観ではなく、ポリゴンの構成が大きな影響を及ぼすことが予想される。そこで、ポリゴンの面積による重み付けを行うことで、モデルごとのポリゴンの構成による影響を少なくする。

3.1.3 法線ベクトル

各ポリゴンにおける法線ベクトルの分布を特徴とする。物体の各ポリゴンの法線ベクトルのXY成分およびXZ成分について、角度の分布を n 等分して離散化する。重心距離の特徴量と同様、各角度の含まれる区間に、ポリゴンの面積を足しこむ。これを各区間の積算値で割り、式(3)のように形状特徴をベクトル $\mathbf{d}$ で表す。 n は単位円を分割する数を表し、 d^{xy} はXY平面に射影した場合の角度のヒストグラムを表す。

$$\mathbf{d}^{xy} = (d^{xy}_1, \dots, d^{xy}_n, d^{xz}_1, \dots, d^{xz}_n) \quad (3)$$

同様に、XZ平面に写像した場合における角度の分布のヒストグラム $\mathbf{d}^{xz}$ も求める。

3.2 部分形状特徴

3.1に示した全体形状のうち、法線ベクトルの分布および頂点座標の分布に関して、部分形状特徴も用意した。物体を囲む外接直方体を標準化した後に、 n^3 のセルに区切り、各々のセルに含まれるモデル部分から、上記、頂点座標および法線ベクトルの特徴を抽出し各セルの特徴とした。図2は、外接直方体の等分割によるセルの生成を示したものである。

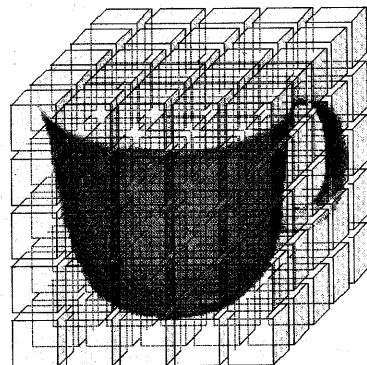


図2. 外接直方体の等分割によるセルの生成

4. システムの構成と実装

本システムの構成および処理の流れを図3に示す。サーバクライアントの構成を取っている。サーバはSolarisおよびWindowsNT/2000で稼働し、GUIクライアントは、Windowsで稼働する。サーバクライアント間の通信はhttpを用いて行われる。

4.1 システムの処理の流れ

従来のモデル全体を扱う類似形状検索システムの処理の流れは、まず、3次元モデル投入時には、モデルから特徴量を抽出し、モデルIDと特徴量の組をDBに格納する。部分特徴を扱う本システムでは、モデルを部分に分割し各々から特徴を抽出、DBに格納する処理が加わる。はじめに各モデルを、単位立方のセルで分割し、セル毎に特徴を抽出する。適宜、セルの連結、削除、あるいはさらなる細分化をおこなうことで、部分領域を定め、各セルより抽出した特徴を基に、部分特徴を生成する。

抽出された各部分特徴は、モデル全体の特徴とともに、DBに格納される。また同時に、ブラウジング用に概観画像や書誌情報等、モデルに関する属性情報も関連づけて格納する。

本システムでは、内部キーによる検索のみを実装している。図4は、GUIクライアントの画面で

ある。検索時には、利用者はGUIクライアントを利用し、DBの中からランダムに例示される各モデルの概観画像の中からキーを選択し、観点の重視具合を指定した後に類似検索を実行、結果を得る。また各概観画像を選択することで、該当する陶磁器の書誌情報の閲覧および3DCGモデルの表示をおこなうことも可能である。

4.2 陶磁器モデル

今回の素材として陶磁器のモデルを作成するにあたり、日本各地の陶器および磁器の産地7箇所16窯元より、500点を超える陶磁器を貸していただいた。そのうちディジタイザで十分に形状をモデリングすることができた518点を対象として特徴を抽出し、DBを構築した。同時に陶磁器の概観を表すイメージカットおよびモデルに反映されない上方向のアングルより静止画像を撮影し、モデルと関連づけた。ある程度離れた距離からVGAサイズ解像度のデジタルカメラで対象物を撮影する必要があるという、ディジタイズシステムの制約により、陶磁器は小さいもので5cm程度、大きいもので15cm程度のサイズに限定した。また、陶磁器を横から撮影してモデルを作成することにしたが、皿等の横からみた際にシルエットが極端に細長くなる陶磁器に関しても精度のよいモデルが得られなかったため、対象から除外した。

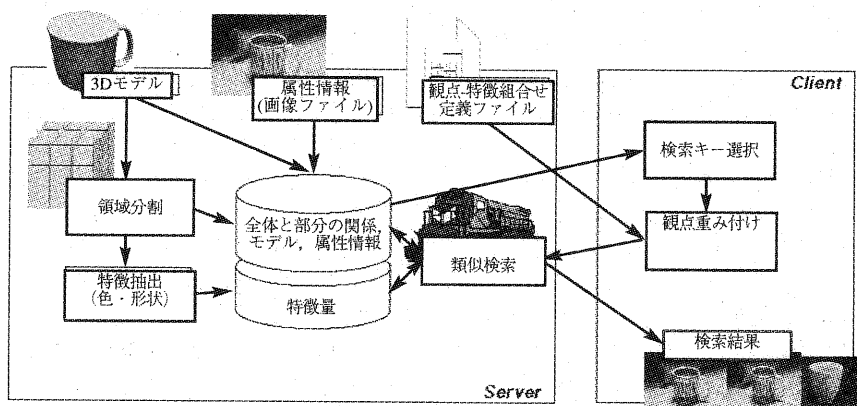


図3. システムの構成および処理の流れ



図4. GUIクライアント画面

各モデルは15,000個の3角形ポリゴンによって構成されている。等を用いた。

4.3 抽出する特徴量

本システムでは、3章に示した3種類の全体形状特徴およびモデル全体を5°のセルに区切った各セルより求める部分形状特徴を抽出した。

全体形状特徴として、頂点座標分布27次元 ($N=3$)および125次元($n=5$)、重心距離24次元($n=8$)、そしてXY平面およびXZ平面における法線ベクトル36次元を抽出した。

部分形状特徴に関しては、セルを上部(上部2段)、中央部(中央部3段)、下部(下部2段)、外周部(前後左右の各面)に分類してまとめ、頂点座標に関しては、セルと次元を対応づけ、各セルに存在する頂点の数を50次元および75次元の特徴として格納、法線ベクトルに関しては、各セル毎に36次元で抽出した後に、ベクトルの和を求めた。

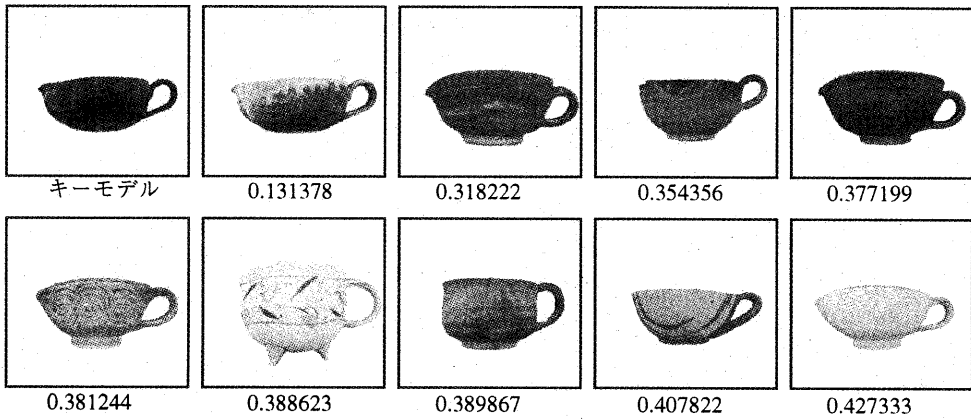
また各モデルの表面テクスチャ画像より画像特徴を抽出した。画像特徴には、HSI(Hue, Saturation, Intensity)空間[6]での画素値の出現頻度

4.4 検索観点と特徴量重み付けの対応付け

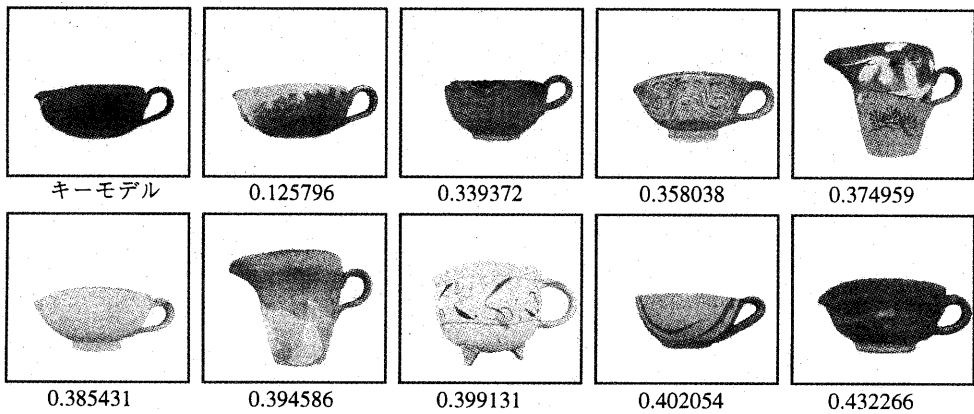
予め一般的な検索の観点と、その観点を反映しやすい特徴量の組み合わせを定義するために、GUI画面で利用者が指定する各観点の重視度合いのスクロールバーに一体一対応する特徴量の組み合わせを、ファイルに用意し変更できるようにした。例えば全体の形状という観点を用意し、頂点座標分布27次元および頂点座標分布125次元を1:2の割合で重み付けするという定義をした場合、利用者がスクロールバーを動かして重視度合いを10にした場合には、頂点座標分布27次元が10、125次元が20の重みを持つことになる。この際、複数の観点で重複する特徴を用いていた場合、その重みは加算される。

類似検索実行時には、特徴空間における距離演算時にこの重みが反映され、重みの高い特徴ほど、距離の違いが類似度に強く反映されることになる。

全体形状 頂点座標125次元



上部形状 頂点座標50次元



下部形状 頂点座標50次元

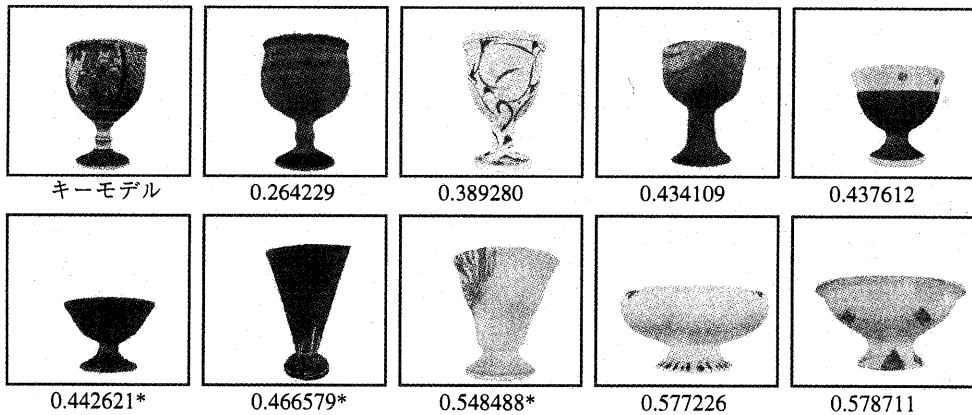


図5. 検索結果の一例

各画像は、モデルを正面から撮影したものである。左上はキーモデルであり類似度の高い順に列挙している。画像の下の数字は類似度を示し、数字が少ないほど類似度が高いことを表す。

5. 実験結果

実装したシステムの有効性を検証するために、基本的な機能である全体形状および部分形状の特徴を用いた類似検索をおこなった。図5は検索結果の一例である。

上段2列は、全体形状特徴の頂点座標分布125次元の特徴を用いて、注ぎ口の付いたマグカップを検索した結果である。セルの区切りは5個程度の荒さで十分であると思われる。他の例においても、取手の有無、縁の形状といった部分的な類似性も含め、良好な結果となった。27次元では、多くの場合において利用者が主観的に類似していると判断できる結果には至らなかった。

中央2列は、同様の検索キーにおいて、特に上部の部分形状に関する特徴を重視して検索をおこなった例である。対象を上部に絞り込むことで、注ぎ口がありかつ取手のある形状の類似度が上がっていることがわかる。

下段2列は、下部の部分形状に関する特徴を用いて類似検索をおこなった例である。類似度の後ろに*を示したモデル3点に関しては、全体形状をもとに検索をおこなった際には、類似度が低かった。下部の形状を使った検索をおこなうことで、平らな足をもった器が上位にきていることがわかる。

陶磁器のように天地がはっきりとしており、縁の形状あるいは高台の形状等、典型的な形状の組み合わせが、特定の位置に存在している例では、このような大まかな領域分割でも効果を発揮するものと思われる。一方、現在の方式では取手部分、あるいは注ぎ口部分といったより細かな領域に限定した絞り込みをおこなうことはできない。

今回精度よく検索をおこなえたのは、モデルの品質が一定していることによる部分が大きいと推測される。ポリゴンのきめが細かなモデルでは、頂点座標の分布の頻度が有効な特徴として利用できる。

6. まとめ

実世界の物体を対象とした検索を実現するた

め、非接触型3次元ディジタイザで作成した陶磁器のCGモデル518点を対象とした類似検索システムを構築した。モデルをセルに区切り、各セル毎の特徴を抽出することで、部分に着目した検索を実現した。また、特徴の重み付けと、利用者が検索時に用いる一般的な観点の重み付けを対応づける機構を用意することで、利用者が平易に検索をおこなうことを可能とするインタフェースを実現した。

参考文献

- [1]西村剛, 寺本純司, 長田秀信, 紺谷精一, 3次元物体データベースにおける類似物体検索の検討, 信学技報, DE2000-84, pp.103-110, 2000.
- [2]堀越力, 末永康仁, 中根一成, 超2次元関数膨張法と球面調和関数による3次元形状の記述, 信学論(D-II), vol. J78-D-II, no.1, pp.50-60, 1995.
- [3]山田秀秋, 木邑信夫, 上原邦昭, 田中克己, VRML検索エンジンの設計と実装, 信学技報, DE97-12, 1997.
- [4]鈴木一史, 加藤俊一, 築根秀男, 主観的類似度に適応した3次元多面体の検索, 信学論(D-I), vol. J82-D-I, no.1, pp.184-192, 1999.
- [5]E. Paquet and M. Rioux, "Nefertiti: a Query by Content System for Three-Dimensional Model and Image Databases Management", Image and Vision Computing 17, 157-166, 1999.
- [6]高木幹雄, 下田陽久, "画像解析ハンドブック", 東京大学出版会, 1991.