

複数の検索要素を統合する 3D オブジェクト検索システム

三宅香菜子[†] 宮崎 純[†] 天野 敏之[†] 藤澤 誠[†] 加藤 博一[†]

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 番地の 5

E-mail: [†] kanako-m@is.naist.jp, miyazaki@is.naist.jp

あらまし 本研究は 3D オブジェクトを検索する際、形状情報だけでなく空間上に付加されたキーワード情報も使用することで、よりユーザの嗜好に合う検索結果を提示する手法を提案し、評価を行った。3D オブジェクトは、近年様々な分野で検索対象として必要性を増している。しかし、いままで検索手法は要素として形状情報のみを扱っており、似た形状であれば全く別のものでも結果として提示されてしまうという問題がある。そこで本研究では形状情報と共にキーワード情報を検索要素として扱う検索システムを提案し、評価を行う。キーワード情報はオブジェクトの座標情報上に任意の範囲を指定することで、検索結果を絞り込むことを可能とする。更に、形状情報とキーワード情報各々をユーザがどの程度重視するかという嗜好を反映させる統合関数を用いる。嗜好を反映させることにより、ユーザが重きを置く要素を持つ 3D オブジェクトを効率よく提示することができる。

キーワード マルチメディア検索、3D オブジェクト検索、複数の特徴量

1. はじめに

本論文では 3D オブジェクトの検索において、形状情報やキーワード情報といった複数の検索要素を統合して扱うシステムの提案と構築、そして評価を行う。

本論文で扱う 3D オブジェクトとは、3次元物体の形状情報だけでなく、3次元物体表面の模様などの 2次元情報(テクスチャ)、ならびに 3次元物体の空間上に付随する 1次元情報(例えば、キーワード)を含めたものと定義する。近年、計算機の処理能力向上に伴い計算機における物体の表現も多様になってきている。その中でも 3D オブジェクトの生成は様々な分野で用いられている。具体的にはタンパク質を扱うバイオ分野や CAD のような工業用部品の設計分野などが挙げられる。更に、将来的には商品の付加情報としてネットでの商用分野への発展が見込まれており、検索対象としての重要度が増すと考えられる。

3D オブジェクトを対象とする検索システムは存在するが、いくつかの問題点がある。1 点目として、システムに汎用性がないことが挙げられる。例えば、タンパク質の立体構造の類似検索を行う PDB (Protein Databank) [1] はタンパク質の検索のためだけに専用設計されており、他の分野の 3D オブジェクトを扱うことはできない。同様に、それぞれの検索システムが扱うオブジェクトの分野や形式によってカスタマイズされている。2 点目として、これらのシステムは形状情報だけを検索尺度として用いており、一般のユーザが望む検索が困難である。例えば、携帯電話を検索し

たい場合、“直方体のような形”という形状情報しか問合せることができず、結果直方体という形状情報の類似だけで豆腐や黒板といったユーザの意図に沿わない結果が示されることになる。また、タンパク質や化学物質において、作用部分の形状にはあまり影響を及ぼさないが、作用そのものに多大な影響を及ぼす基が存在することがある。このような場合、形状情報だけでは検索尺度として不十分と言える。

そこで本研究では、オブジェクトの形状情報だけでなく、オブジェクト上に付与されているキーワード情報を利用し、各情報から特徴量を抽出、比較することで 3D オブジェクトの類似検索を行うシステムを提案し、評価する。更に提案システムでは、形状とキーワード、2つの検索尺度を用いるため、それぞれにどの位重点を置くかを調節するパラメータをユーザが調節することにより、ユーザの嗜好に沿った 3D オブジェクト検索を可能とする。また、2次元情報であるテクスチャについては、テクスチャが持つ特徴量がテクスチャそのものを表す特徴量とテクスチャの位置を表す特徴量に分割されると予測される。この2つの特徴量は尺度が異なり、総合的にテクスチャの特徴量として扱うことが難しい。そこで今回は形状情報とキーワード情報を検索要素として焦点をあて、実験的に検索システムを構築し、統合関数とユーザの重み付けの影響等を評価する。

2. 関連研究

3D オブジェクトの形状の類似検索に関する研究は活発に行われており、様々な手法が提案されている。

Depth buffer手法を基としたPTK[2]では、オブジェクトを立方体で囲い、オブジェクトの表面から立方体までの距離を6枚の距離画像として持つ。そして、その距離画像のフーリエ解析を行い、フーリエ係数を特徴ベクトルとして抽出し、検索を行っている。一方、球面調和法[3]は、形状の表面の曲率を基に特徴ベクトルを抽出し、検索を行っている。

PTKはどのような形状でも高い精度を提供するという利点があるが、表面の形状のみを扱うためオブジェクト内部が空か密か分からないという問題点がある。球面調和法を用いる手法では、内部が空か密かが判別でき、曲線を多用する形状を持つオブジェクトの類似検索に適しているが、逆に直線的なオブジェクトの類似検索には適さないという問題点がある[4]。

空間におけるキーワード検索は、地理情報システム等で多次元索引を用いて、近隣施設の近傍検索や範囲検索が可能である。また、探索において効率の良いtop-k空間キーワード検索手法[5]も提案されている。

最後に異なる尺度を持つ特徴量の統合手法の関連研究として鈴木らの研究[7]を挙げる。この研究は複数メディアで構成された電子文書に対する検索の精度向上を目的とし、精度向上に貢献する正規化とスコア統合関数に関する比較実験を行った。スコア統合関数に関する比較実験では6つの統合関数からPRO関数が検索において良い精度を示すことが確認された。

3. 提案する検索システムの構成

3.1 システム全体の流れ

3次元物体にテクスチャ、さらにその物体を表している空間領域内において座標値を持ち、球状にキーワードが付与されているものを、本論文では3Dオブジェクトと定義する。キーワードの付与について、本論文では球状と定義しているが、本来は球状でなく矩形

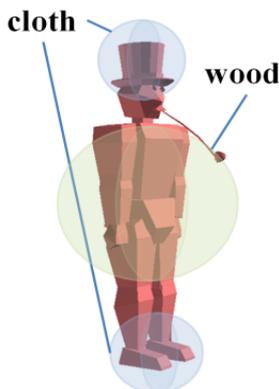


図 1. 3D オブジェクト

でも問題はない。むしろユーザーが好きなように形状を設定できることが理想である。そして、本論文ではテクスチャを考慮せず、3次元物体とそれに付随する空間領域にキーワードが付与されているものに焦点を絞る。3Dオブジェクトの例を図1に示す。検索対象となる3Dオブジェクトはデータベースに格納されている。

ユーザーがクエリとなるオブジェクトを作成し、提案システムに与えると、データベース中に格納されている3Dオブジェクトを適合する順に並べかえて出力する。

3Dオブジェクトの形状、キーワード情報をデータベースへ格納する流れを図2に示す。形状情報は立体の表面が特徴量抽出において重要となるため、フーリエ解析を行う手法が主であり、特徴量は周波数領域で表すことができる。一方、キーワード情報は3Dオブジェクト上のある特定の空間領域に存在していることが特徴量抽出において重要であることから、特徴量を空間領域で表現する。ここでいうキーワードの特徴量を表す空間領域とは、キーワードそのものの意味を表す空間領域でなく、3Dオブジェクトが表現されている空間領域内に任意にキーワードを存在させるものである。

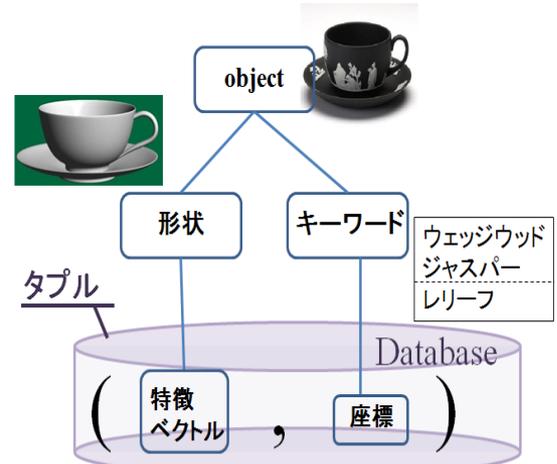


図 2. 特徴量の抽出と格納

具体的には、提案システムではキーワード情報は球状に与えるものとする。よってデータベースにはキーワードそのものの情報と球の中心点の座標と半径が格納される。当然、3Dオブジェクト中でのキーワードの出現頻度を特徴量として扱うことも可能である。しかし、空間領域中の座標でキーワードを管理する方が、ユーザーが場所を指定してキーワード情報を与えることを可能とする、という3Dオブジェクトの定義から考えるとより適切であると判断出来る。このように1つの3Dオブジェクトにつき、周波数領域で表す特徴量と空間領域で表す特徴量が各1種ずつ、計2種の特徴量がデータベース中に格納される(図2)。

クエリについても同様に、周波数領域で表す形状情

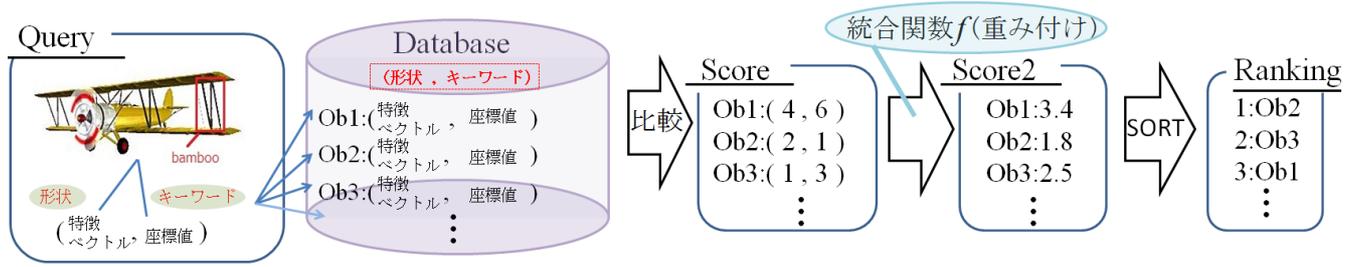


図 3. システムの流れ

報の特徴量と空間領域で表すキーワード情報の特徴量、計 2 種の特徴量を用いる。抽出されたクエリの 2 つの特徴量は、データベースに格納されている 3D オブジェクトの各特徴量と比較される。形状、キーワードそれぞれの特徴量を類似度として計算し、各類似度をユーザの重みづけを反映する統合関数によって適合度として統合し、スコアとする。この時、形状情報は周波数領域で表されているため、ベクトル間の距離を測り、この値を類似度として表す。

キーワードの類似度は、クエリとして指定した領域とデータベース内の 3D オブジェクトが持つ領域がオーバーラップしているか、いないかで算出方法を分ける。このように算出方法を分ける理由は、オーバーラップしている領域間の距離を類似度と定めると、オーバーラップしている場合の距離の定義が難しく、オーバーラップが無い場合よりもオーバーラップ有りの場合の方が、類似度が大きくなる可能性があるからである。

そこで、オーバーラップしていない場合はクエリとして指定された領域と 3D オブジェクトが持つ領域の中心間の距離に 1 を足したものを類似度とする。一方、オーバーラップしている場合は、オーバーラップの割合から 0 から 1 を値域とする関数によって導かれた値を類似度とする。詳細は 3.2 で述べる。

各特徴量の類似度を計算後、ユーザが与えた形状やキーワードに対して行った重み付けを反映する統合関数によって各スコアを一つの値にまとめる。この統合されたスコアに基づき、適合する 3D オブジェクトをランキングし検索結果としてユーザに返す (図 3)。

3.2 オーバラップしているキーワード情報の類似度の算出方法

キーワード情報の類似度の算出にはオーバーラップしている体積が、クエリとして指定した領域とデータベース内の 3D オブジェクトが持つ領域それぞれに占める割合を用いる。領域が完全に一致しているか、広い領域の中で少しオーバーラップしているかによって類似度が違ってくる。もし、体積によって類似度を決めてしまう場合、狭い領域で完全一致していても、広い領域の中で完全一致していなくてもオーバーラップして

いる体積がより高い類似度となってしまう、領域の完全一致の値が失われてしまう可能性がある。よってオーバーラップの割合でオーバーラップ時の類似度を表現する方が体積に基づく方法より妥当である。また、オーバーラップしている体積の割合と、お互いの領域の直径に対するオーバーラップしている長さの割合には正の相関がある。従って、提案する検索システムでは、DB 内のオブジェクトが持つキーワード領域、あるいはクエリで与えられたキーワード領域の直径に対するオーバーラップしている長さの割合を類似度とする。

オーバーラップしている割合の算出方法は 2 通り存在する。1 通り目はクエリで指定した領域の直径に対してオーバーラップしている長さが占める割合を算出する方法であり、2 通り目はデータベース内の 3D オブジェクトが持っている領域の直径に対してオーバーラップしている長さが占める割合を算出する方法である。この割合 P の求め方はクエリで指定した領域の半径が m_1 、DB 内の 3D オブジェクトが持つ領域の半径が m_2 、両領域の中心点間の距離が d の時、基本的に以下の式で表される。

$$P = \frac{m_1 + m_2 - d}{2 \times m_1} \text{ or } \frac{m_1 + m_2 - d}{2 \times m_2} \quad (1)$$

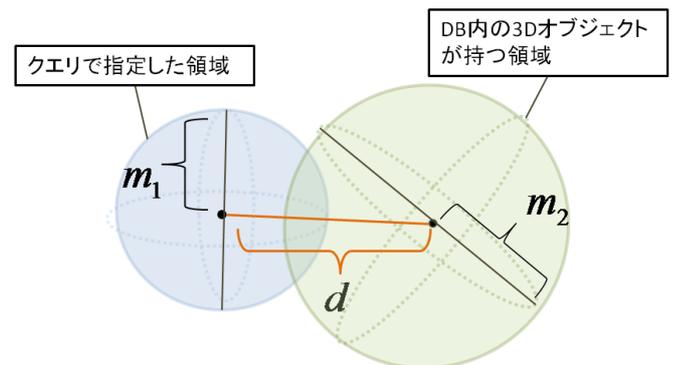


図 4. オーバラップ時の類似度算出方法

この 2 種類の割合は、クエリで与えた領域とデータベース中の 3D オブジェクトの領域のオーバーラップの形態によって変化する。例えば、クエリとして指定した領域がデータベース中の 3D オブジェクトの持つ領域

に完全に内包している場合は2つ目の考え方で導出した割合の値の方が類似度を示す際に有効であるが、逆にデータベース中の3Dオブジェクトが持つ領域がクエリとして指定した領域に完全に内包されている場合は、1つ目の考え方で導出した割合の方が類似度を示す際に有効である。このように2通りの方法で算出された割合は、様々なオーバーラップの形態に対応するためどちらも欠かせない。よってこの2つの割合の値をF値、すなわち調和平均を用いて統合し、オーバーラップ時の類似度とする。

4. 統合関数と評価方法

4.1 統合関数

提案する3Dオブジェクト検索システムの実装には、既存の手法の組合せで可能である。形状情報は、前述の検索精度の良いPTK[2]を利用して特徴ベクトルを抽出する。キーワードの位置情報に関しては、例えばSR-Tree[9]を利用し、オブジェクトに付加されているキーワードの位置を示す球の中心間の距離と直径を利用してk-近傍検索を行えば良い。

検索システムへのクエリの与え方に関して、ユーザが手書きでクエリを指定したい場合、ユーザが描いた簡単なイラストを自動的に3次元に変換するソフトウェアが利用できる[6]。手書きが難しい場合は、単純な立体を数種類用意した上で積み木のように創作し、立体を表現することも可能である。よく検索されそうな立体の例を予め提示することも考えられる。クエリとなる立体を作成できれば、キーワードの位置や領域を任意に指定して付加すれば良い。このようにユーザが自由にクエリを表現することは困難ではない。

統合関数について説明を行う。統合関数はユーザの嗜好、すなわちユーザが形状、キーワードそれぞれをどの程度重要視するかを提案システムに伝え、その情報を検索結果に反映させるための関数である。また、形状情報の特徴量とキーワード情報の特徴量を統合する関数でもある。ユーザは形状とキーワードのそれぞれのパラメータに重み付けを行うことによってユーザの嗜好を提案システムに与えるものとする。形状とキーワード、それぞれの特徴量は周波数領域と空間領域で表現されており指標が異なっており、統合に関して何らかの工夫が必要である。先行研究として、異質な判断基準を持つスコアの、統合手法に関する研究[7]がある。この研究ではPDF内の文書と画像の特徴量の統合方法についての実験と考察が行われている。文書と画像の特徴量は異なる判断基準を持つという点で、本研究にも応用可能であると考えられる。よって、この研究を参考に評価の良いPRO関数を基とした重み付きの統合関数を利用する。PRO関数の特性としてどちらか一方もしくは両方の評価値が高い場合、関数値が高

くなることが挙げられる。まずユーザの形状情報に対する重みをrsとし、形状情報のクエリとデータベース内での特徴量の距離を正規化したものをFsとする。同様にキーワード情報に対するユーザの重みをrk、キーワード情報のクエリとデータベース内での類似度を正規化したものをFkとする。この時、ユーザは重みrs+rk=1となるように設定する。そして、統合されたスコアXは以下の式(3)で求まる。

$$X(rs,rk,Fs,Fk) = 1 - \left[\{(1-rs) \times Fs\} \times \{(1-rk) \times rk\} \right] \quad (3)$$

この時Fsの項はrsの値に、Fkの項はrkの値に束縛され、本来のPRO関数が持つ値の領域で示すことはできないが、狭められた領域内でスコア化し、ソートを行い、更に関数が単調増加であるため、値が束縛されていても問題がないと考える。

この統合関数から得られた値、適合値をスコアとして降順に並べ、該当する3Dオブジェクトを結果として提示する。

4.2 評価方法

システムの評価に用いる3Dオブジェクトについては、3Dオブジェクト検索システムのベンチマークとして広く用いられているPrinceton Shape Benchmark[8]に内包されている400個のオブジェクト中ランダムに選択した100個のオブジェクトに手動でキーワード情報を付与したものを利用する。上位からR番目までの検索結果を出力した時点での適合率、R適合率を使用する。R適合率は検索対象が少数な事例に対して有効であるとされる、検索システムの精度を評価する値である。今回、検索対象が100個と少ない数しか用意できなかったため、R適合率が評価に妥当だと考える。また、重みによってユーザの検索意図が異なっていることを考え、正解集合も重み毎に設定し、判断した。

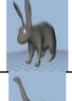
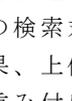
5. 実験と評価

提案手法、すなわち複数の検索要素を統合する3Dオブジェクトの検索システムの妥当性を検証するために、提案システムを実装し評価実験を行う。本実験の目的は以下の通りである。

- ・複数の検索要素を利用した検索が正しくなされるかどうかの検証
- ・ユーザの重みづけが反映された結果が提示されるかどうかの評価本章では実験手順を示し、実験の結果及びその結果に対する考察を述べる。

5.1 実験手順

提案システムはPrinceton Shape Benchmark[8]の中からランダムに取り出した100個のオブジェクトの特徴量をリスト化し、データベース内に取り込んだ。検索対象である100個のオブジェクトの内容は表1の通りである。この表1に示すオブジェクトに手動でキーワ

| 図 | 種類 | 数 |
|---|-----|---|
|  | 昆虫類 | 5 |
|  | 鳥類 | 4 |
|  | 魚類 | 6 |
|  | 爬虫類 | 2 |
|  | 動物 | 8 |
|  | 恐竜 | 8 |

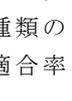
| | | |
|---|----|----|
|  | 骸骨 | 4 |
|  | 建物 | 3 |
|  | 手 | 3 |
|  | 脳 | 3 |
|  | 顔 | 25 |
|  | 人 | 30 |

表 1. 検索対象の内容

ードを設定し、検索対象とした。

以上の検索対象に対して 5 種類のクエリを用意し、検索結果、上位 20 件中の R 適合率を求めた。またユーザの重み付けは、

- ・形状情報に対する重み 0.25 かつキーワード情報に対する重み 0.75
- ・形状情報に対する重み 0.5 かつキーワード情報に対する重み 0.5
- ・形状情報に対する重み 0.75 かつキーワード情報に対する重み 0.25

上記 3 種とした。重みとして 0 と 1 を用いない理由は、これは単に立体形状のみ、あるいはキーワード情報のみの検索と等価であり、提案手法の趣旨に合わず、評価するのにふさわしくないためである。

5 つのクエリに対して、それぞれ 3 種類の重み付けを行い、表示された上位 20 件が検索結果として適合するかどうかを判断した。そして各重み付けの条件ごとに 5 つクエリに対する結果から得られた R 適合率 5 つを平均したものが図 5 である。

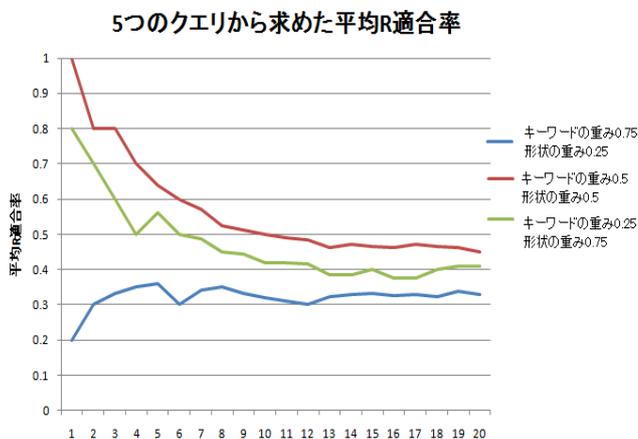


図 5. 重み条件ごとの平均 R 適合率

5.2 考察

前節で得られた結果から、考察を行う。

まず、キーワード情報に高い重み付けを行った場合、キーワードの類似度が高いとき、すなわちキーワードの領域が近ければ、形状が全く異なっても、検索結果の上位に提示される例が多くみられた。最も顕著な例として図 6 のような結果が挙げられる。この時 3 番目の結果以外は鳥類でなく、人や魚類が上位の検索結果として示されている。いずれも "orange" というキーワードの条件を満たしてはいるが、形状情報に関しては 3 件目以外鳥の形という条件を満たしてはいない。この原因としては統合関数の中で、ユーザの重み付けに対して形状の類似度、キーワード類似度をそのまま、線形と仮定して計算していることが挙げられる。ユーザによっては、"orange" 自体は合っているのに、この結果に違和感をおぼえない人もいるかもしれないが、このまま線形で扱えば、キーワード情報に対する重みを最大にした場合、ユーザは鳥を含む生物を検索したいはずなのに、同じ "orange" というキーワード情報の位置が類似するハンカチや建物といった全く見当違いの 3D オブジェクトが大量に結果として提示される可能性が大いにある。このように、それぞれの検索要素の類似度のスコアと、ユーザの感じる類似度の関係は、必ずしも線形とは限らない。検索要素の類似度のスコアと、ユーザの感じる類似度の関係を調査し、それを反映させることが望まれる。

同様に、図 5 より、キーワード情報が形状情報よりも重きを置かれている場合、平均 R 適合率は全体的に低くなる。提案する検索システムはあくまで 3D オブジェクトを対象とする検索システムであるため、ユーザがキーワード情報を重視してもある程度、形状情報の類似度は確保されることが望ましい、すなわち形状情報の重みが小さい場合、形状の類似度にバイアスを与えるべきと考えられる。さらに、クエリとして与えた形状に対して、類似する形状を持つオブジェクトが絶対的に少数しかなく、不正解が多く出力される例が発生した。これにより適合率が低くなった。逆に人のようなサンプル数が十分確保されたクエリに対する結果は比較的良好な結果が得られた。この原因は、明らかに類似しない形状でもスコアが計算でき、ランキングされるためである。これは、検索対象数が多くなれば問題は発生しないが、スコアに大きなギャップが発生する箇所、すなわち異なる形状がランキングされる箇所、検索結果の出力を停止するような工夫が必要である。汎用性がある検索システムを目指す上で、絶対数の少ない 3D オブジェクトを検索する手法や機能は効率のよい検索結果を示す時に必要不可欠だと考えられる。

最後に、複数の検索要素を扱う検索システムはユーザの重みに対して対応するという研究目的は、ある程度達成できた。しかし、ユーザの重み付けに対して、さらに上手く対応するには、異なる統合関数の利用や、さらなる工夫が要求される。

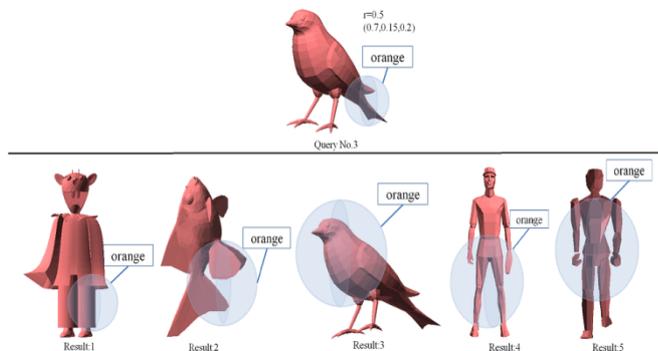


図 6. キーワードの重み付けが高い場合の結果例

6.まとめ

本研究では立体形状の類似検索において、立体形状だけでなく、立体形状を表す空間領域に添付されたキーワード情報という付加情報も含めた 3D オブジェクトの検索システムの提案と評価を行った。提案手法により、形状は類似していてもユーザの意図に沿わないキーワードを持つオブジェクト等、ユーザの情報要求に適合しない検索結果を排除する。提案システムではユーザの重み付けによって、異なる検索結果が提示された。この結果は適合度の高い 3D オブジェクトを絞り込むことや、立体形状、キーワードにそれぞれユーザの嗜好に応じた重み付けを行い、ユーザの意向に沿った検索も可能であることを示した。

実験では、この 100 個のオブジェクトを検索対象として、5 つのクエリにおいて 3 種の重み付けを設定しそれぞれの評価を行った。評価には R 適合率を用いた。その結果、重みによって異なる検索結果を示すことが判明し、ユーザの重み付けとスコアが線形でないという考察を得た。

今後、ユーザの重みづけを行う統合関数に形状情報を最低限考慮する工夫が必要だと考えられる。また、特徴量抽出の手法も単一でなく、複数用いた方がより広い範囲の 3D オブジェクトの類似検索が正確に出来ると考えられる。特に、Spherical Harmonics は曲線で構成されるオブジェクトの類似検索において、効果が大きいと関連研究でも報告されており、今後特徴量を抽出する手法として導入すべきだと考える。更に今回、クエリ 1 つにつきキーワードを一つしか与えていない状態でシステムの構築・実験を行ったが、今後は複数

与えられるよう、統合関数とシステムを設計する必要がある。必要や用途に応じては PRO 関数以外を用いても全く問題がなく、むしろ様々な統合関数を設定して検索結果を比較する必要があると考える。そして、結果を示す際に極端にスコアが変化している場合は、検索対象の絶対数が少ない場合が考える。そこでスコアが大幅に変化している場合には、結果の出力を途中で中止するような工夫が求められる。

また、今回は扱わなかったが 3D オブジェクトにはテクスチャ(画像)が張り付けられていることがあり、模様や色の検索の要素として使うことが可能である。テクスチャは検索の際、必須の模様や色がある場合に非常に有用性があると考えられる。このシステム上で画像の特徴量を扱うとすると、まず画像そのものの特徴量と画像がオブジェクト内のどの位置に配置しているかという特徴量が必要になると考える。画像そのものの特徴量は既存の研究[10]から周波数領域で表すことができ、画像の位置についての特徴量はキーワード情報の特徴量と同じく空間領域で表すことが妥当だと考えられる。この 2 つの画像の特徴量は形状の特徴量と同じ周波数領域、キーワード情報の特徴量と同じ空間領域で表すことが出来る。このことから統合関数が決まれば、容易に拡張できると考える。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金特定領域研究(課題番号: 21013035)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- [1] RCSB Protein Data Bank, <http://www.pdb.org/pdb/home/home.do> (2011/ 2/14 アクセス)
- [2] Ceorgios Passalis, Theoharis Theoharis, Ioannis A. Kakadiaris, "PTK: A novel depth buffer-based shape descriptor for three-dimensional object retrieval", *Visual comput* (2007) 23, pp. 5-14, 2007
- [3] Dietmar Saupe, Dejan V. Vranic, "3D model retrieval with spherical harmonics and moments", *L NCS* 2191, pp.392-397, 2001
- [4] Benjamin Bustos, Daniel A. Keim, Dietmar Saupe, Tobias Schreck, Dejan V. Vranic, "Feature-Based Similarity Search in 3D Object Databases", *ACM Computing Surveys*, Vol.37, No.4, pp.345-387, 2005

- [5] Ariel Cary, Ouri Wolfson, Naphtali Rish, "Efficient and scalable Method for processing top-k Spatial Boolean Queries", Proc. of SSDBM 2010, LNCS 6187, pp.87-95, 2010
- [6] Chateau : A Suggest Interface for 3D drawing
<http://www-ui.is.s.u-tokyo.ac.jp/~takeo/chateau/chateau-j.htm> (2011/ 2/14 アクセス)
- [7] 鈴木優, 波多野賢治, 吉川正俊, 植村俊亮, " 検索結果を統合するための情報量の概念を考慮したスコア正規化手法", 情報処理学会論文誌: データベース, vol.45, No.SIG04, pp37-49, 2004
- [8] Princeton Shape Benchmark,
<http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/>
(2011/ 2/14 アクセス)
- [9] Norio Katayama, Shin'ichi Satoh, "The SR-tree: an index structure for high-dimensional nearest neighbor queries", Proceedings of the 1997 ACM SIGMOD international conference on Management of data, p.369-380, 1997
- [10] 都筑勇司, 藤吉弘亘, 金出武雄, "SIFT 特徴量に基づく Mean-Shift 探索による特徴点追跡", 情報処理学会 研究報告 CVIM 157, pp. 101-108, 2007