

## 要 旨

意匠デザイン分野においては、3 次元モデルの類似検索が有効であり、モデル形状や構造の類似性だけでなく、形状に対応した配色の類似性をも評価できる手法が要求される。本研究では、3 次元モデルを、Color を属性に持つ球の和集合である Color Point Set で表現することで、モデルの位相構造の類似性と、構造に対応した色特徴の類似性の両者から、3 次元モデルに対する総合的な類似性を評価する手法を提案する。

## 1. はじめに

従来の 3 次元モデルの類似検索研究例は、そのほとんどがモデル形状や構造のみの類似性を評価するものであり[1]、特に、3 次元モデルの表面の色やテクスチャなどの類似性までを考慮した検索は行える手法研究はほとんどない。意匠デザイン分野を対象とした場合、形状・構造と色の両者を考慮した類似検索には、以下の要件が望まれる。1)形状全体間での色の類似性ではなく、両形状で構造的に類似した部分領域間の色の類似性を評価できること、2)デザイナーが描いたスケッチなどからも、3 次元モデルの類似検索が可能なこと、3)CAD システムや CG ソフトなどで製作された様々な形式の 3 次元モデルを検索対象とできること、である。

そこで本研究では、これらの要件を満たすべく、3 次元モデルの Zero Weighted Alpha Shape[2]を抽出し、その両者の比較に基づき 3 次元モデル間の構造と色を考慮した類似性を評価可能な手法の提案を目的とする。本報ではその予備実験として、Color Point Set 表現の生成を行ったので報告する。

## 2. Color Point Set に基づく 3 次元モデルの類似検索手法

本研究で提案する手法は、Andrey ら[3]の Zero Weighted Alpha Shape を基にした Union of Spheres (以下 UoS, 図 1) による形状特徴の抽出手法に色特徴を付与することで、意匠分野で要求される色情報の類似性の比較を可能とする。これは、Alpha Shape が図形の構造を表す特徴となることに基づくものである。

図 1 のように本手法では、3 次元モデルの形状特徴を Zero Weighted Alpha Shape を基にした UoS を作成することで抽出し、色特徴を UoS 当たりの色ヒストグラムを作成することで抽出する。さらに、多重解像度表現を用い、粗い解像度の UoS のマッチングや類似度計算を行うことによって、早い段階でクエリに非類似なモデルを除外し、計算コストを節約できる。

## 2.1. 前処理

まず、モデル内に点を均一に発生させ、表面の頂点に色情報が付与された点群と共に Regular Triangulation を行う。Regular Triangulation とは、Power Distance を元に三角形分割を行うものであり、Power Diagram と双対関係にある(図 2)。その後、次節以降にて Regular

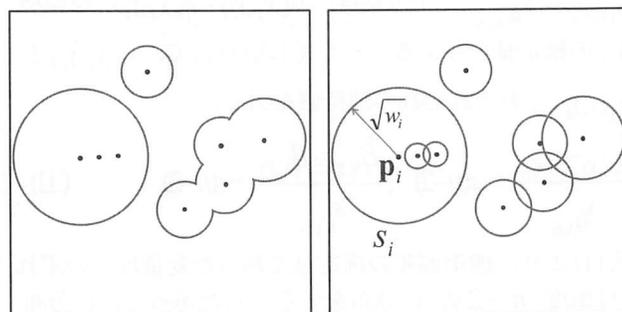


図 1 球の和集合による形状表現

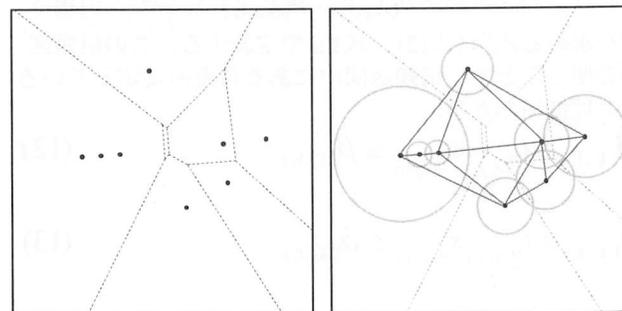


図 2 Power Diagram と Regular Triangulation

Triangulation より Zero Weighted Alpha Shape を作成する。

## 2.2. Color Point Set の多重解像度表現に基づく特徴量抽出

前処理後、特徴量の抽出を行い、3 次元モデルデータの特徴量としてデータベースに格納する。以下の手順で特徴量を抽出する。

- 1) 前処理にて Regular Triangulation を行った結果から、Power Distance を用い、Weighted Alpha Shape のパラメータ  $\alpha$  をゼロに設定し、Zero Weighted Alpha Shape を作成して位相情報を保持する。
- 2) Zero Weighted Alpha Shape の各頂点を、Weight を半径とした Sphere を作成し、UoS を作成する。各 Sphere は、Weight, 色情報の他に、包含する入力点群の情報を持つ。
- 3) より粗い表現の UoS を作成する。UoS の基となる Zero Weighted Alpha Shape のエッジを構成する頂点  $p_i, p_j$  が存在する場合、エラーノルム(エッジ長、球と包含球の体積差、色の相違)に基づき 2 つの頂点を削除し、新しい頂点  $p_k$  を挿入する。その場合、

元の頂点が表す Sphere  $s_i, s_j$  を包含するような球  $s_k$  の中心となる頂点  $p_k$ , Weight を与える (図 3).

- 4) 色情報は, Color Point に付随する色 (RGB, HSV など) を抽出し, Color Histogram として, 包含される Sphere  $s_i$  に付与する. 粗い UoS 表現では, 包含される他の Sphere の Color Histogram と合成し, 包含球  $s_k$  として保存する.

### 2.3. マッチング

3次元モデルの類似検索では, クエリモデルの特徴量を抽出し, データベースに格納したモデルの特徴量とのマッチングを行い, 類似度を計算する. 本研究では, UoS 同士のマッチングを行い, 対応する Sphere 同士で類似度 (相違度) を計算する. マッチングは UoS の Sphere をノードとする完全二部グラフマッチングを行い, 対応しない Sphere がある場合はマッチング済みのノードを削除して全て対応付けされるまで行う (図 4).

$$F(match) = \sum_{match(s_i, s_j)} W_{i,j} \quad (1)$$

但し,  $s_i, s_j$  はマッチング対象の Sphere,  $W_{i,j}$  は  $s_i, s_j$  の相違度である.

### 2.4. 相違度 (類似度) 計算

本研究における, クエリモデルに対するデータベース内のモデルとの相違度 (類似度) は, マッチングした Sphere 毎に, 以下の相違度や類似度を重みづけして算出する.

#### 1) Sphere の相違度 SD

マッチング対象の UoS 内の Sphere の Power Distance を相違度とする.

$$SD = \left\| p_i - p_j \right\|^2 - w_i - w_j \quad (2)$$

但し,  $p_i, p_j$  はマッチング対象の Sphere の中心点,  $w_i, w_j$  は  $p_i, p_j$  の weight である. この類似度は, Sphere の幾何的相違度の評価基準の一つとなる.

#### 2) 位相の相違度 TD

2つの Sphere に含まれるベッチ数の差を位相の相違度として用いる.  $\beta_0(s_i)$  は構成要素数,  $\beta_1(s_i)$  は穴の数,  $\beta_2(s_i)$  は void (閉じた形状内の空洞) の数である.

$$TD = \sum_{k=0}^2 w_k^\beta \left| \beta_k(s_i) - \beta_k(s_j) \right| \quad (3)$$

但し,  $w_0^\beta, w_1^\beta, w_2^\beta$  は重みである.

#### 3) 体積の相違度 VD

Sphere の体積同士の差を幾何的相違度の一つとして用いる.  $V_i, V_j$  は  $s_i, s_j$  の体積である.

$$VD = \left| V_i - V_j \right| \quad (4)$$

#### 4) 色特徴の類似度 CS

UoS の Sphere に割り当てた HSV ヒストグラムの類似度を Histogram Intersection(HI)によって算出する. HI は階級数  $N_h$  のヒストグラムの各階級の度数  $h_{in}^{s_i}$  についての積の総和が類似度に相当する.  $h_{in}^{s_i}$  は Sphere の体積によって重みづけられる.

$$CS = \sum_{s_i} \left\{ V_i \sum_{n=1}^{N_h} \min(h_{in}^{s_i}, h_{in}^{s_j}) \right\} / N_E \sum V_i \quad (5)$$

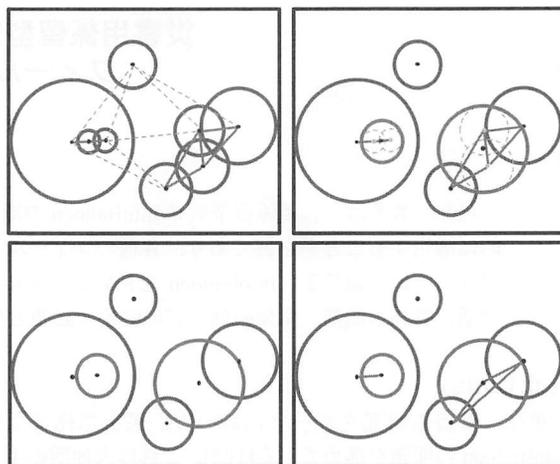


図 3 多重解像度表現

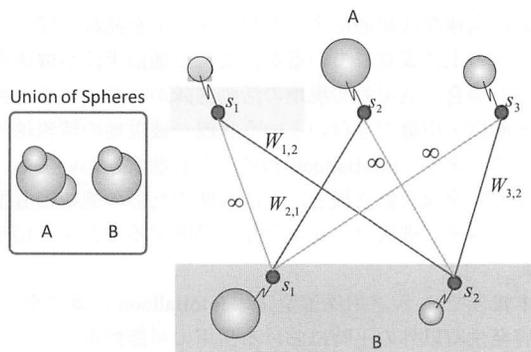
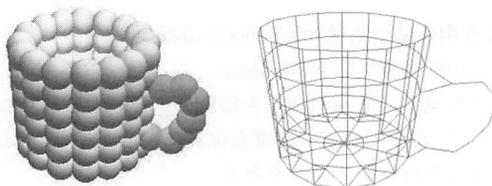


図 4 UoS の二部グラフマッチング



(a) 取っ手付きカップ (b) Alpha Shape のエッジ

図 5 予備実験結果

### 3. 予備実験

本手法の有効性を確認するため, 3次元モデルの Color Point Set による表現と, Zero Weighted Alpha Shape を示した (図 5). Alpha Shape のエッジ作成において, エラーノルムは Power Distance のみを考えた. 図 5(b)より, Alpha Shape のエッジは, カップの取っ手の穴を失っていない. よって, 本研究で提案した Color Point Set から, 構造の類似性評価に必要な情報が生成可能であることを確認した.

今後の課題としては, 二部グラフのマッチングとマッチング時の相違度評価, 色を考慮した多重解像度表現の作成がある.

#### 参考文献

- [1] Natraj Iyer, Karthik Ramani, et al, "Three-dimensional shape searching: state-of-the-art review and future trends", Computer-Aided Design(CAD), 37,pp509-530, 2005.
- [2] H. Edelsbrunner., "Weighted alpha shapes", University of Illinois at Urbana-Champaign, 1992 .
- [3] Andrey S, Arel S, "Feature-sensitive 3D Shape Matching", Computer Graphics International, pp596-599, 2004 .