

2次元画像を入力要求とした3次元モデル類似検索 3D-Model retrieval from 2D image as a query

岩渕 寛樹†

Hiroki Iwabuchi

青野 雅樹‡

Masaki Aono

1. はじめに

近年、3次元形状モデルの利用が急速に拡大している。3D映画や3Dテレビをはじめ、自動車、建築物、機械部品などの形状や機構の設計あるいは強度評価などにも利用されている。さらに、3次元医療画像による診断や医療支援、考古学的遺物の管理や再構築、携帯電話やゲーム機器への利用が拡大しており、今後も3Dモデルを扱う機会がさらに増えることが予想される。

このように、3次元モデルの利用が広まると、爆発的に増加した3次元モデルを効率よく管理するため、3次元モデルを形状等の内容に基づいて検索する技術の必要性が高まってきた。このような検索が可能になれば、作成済みの3次元モデルを検索して再利用することができ、また複数検索によって部品を組み合わせる新たなモデルを作ることにも可能となる。しかし、これまでの3次元モデル検索は、3次元モデルを入力要求として例示するものが多く、手元に3次元モデルがなければ3次元モデルを検索することができないという問題点があった。

そこで本研究では、デジタルカメラなどで撮影された写真(2次元画像)を入力要求として、そこに写っている物体に類似した3次元モデルを検索することを目的とし、比較実験により本手法の有効性を検証し、それを報告する。

2. 提案手法

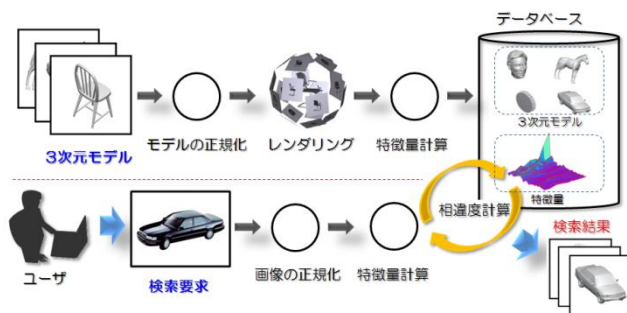


図1 本検索手法の処理工程

ユーザは、2次元画像を入力要求として与える。入力要求として得た2次元画像を3次元モデルと同一視点で類似比較するために、画像の解像度、大きさ、位置を正規化し、特徴量を計算する。

検索対象の3次元モデルは、あらかじめ特徴量の計算を行っておく。まず、入力要求と同一視点で類似比較をするために、3次元モデルの大きさ、向き、位置の正規化を行い、平行投影により合計26視点についてレンダリングを行う。生成された26枚の画像それぞれについて特徴量を計算し、データベースに保管する。このあらかじめ計算されて

いるデータベース内の全3次元モデルの特徴量と2次元画像の特徴量の類似度をそれぞれ計算し、3次元モデルと類似する順に検索結果としてユーザに提示する。

2. 1. 3次元モデルの姿勢正規化処理

3次元モデルはその製作者により、位置・大きさ・向きが任意である。したがって、非常に類似した形状を持つ2つのモデルをレンダリングした画像や、その画像から算出した特徴量が大きく異なる可能性がある。そこで、本手法ではこの問題を解決するために、前処理として3次元モデルの位置・大きさ・向きの正規化を行った。正規化の手法は、我々の先行研究であるPoint SVDとNormal SVD[1]を用いる。

Point SVDは、モデルの表面にばらまいた点群の座標値の分布を主成分分析(PCA)して求めた3つの主軸を3次元モデルの固有3軸とすることで向きの正規化を行う。Normal SVDは、モデルの表面にばらまいた点群の法線ベクトルの分布を主成分分析(PCA)して求めた3つの主軸を3次元モデルの固有3軸とすることで向きの正規化を行う。

大きさの正規化は3次元モデルを包囲するBounding Sphereを用い、モデルの位置(固有3軸の正負)の正規化は、モデルの重心が原点よりどちら側にあるかによって決める。

2. 2. 入力画像の正規化

3次元モデルと同様に、入力要求である2次元画像も製作者や撮影者により、解像度・物体の大きさ・位置が任意である。本論文で提案する特徴量は、位置や大きさに影響を受け変化するため、特徴量計算の前処理として2次元画像についても正規化を行う。

まず、2次元画像に写っている物体を包囲するBounding Boxを用い、物体の比率を変化させずに解像度 256×256 の画像を生成する。物体の大きさの正規化は、物体を包囲するBounding Sphereを用いて正規化を行う。位置の正規化は、物体の重心を画像の中心に平行移動することで正規化を行う。

正規化を行った後、入力要求の画像からシルエット画像とグレースケール画像を生成する。

2. 3. 多視点レンダリング

入力要求の2次元画像と同じ特徴量を得るために、全3次元モデルについて、合計26方向から 256×256 の大きさのシルエット画像とDepth Buffer画像を生成する。Depth Buffer画像は、任意の視点から3次元モデルの表面までの距離(深さ)を表したものである。

26視点の投影方法は、 x, y, z の直交3軸上の正負の方向からの合計6視点に加えて、 x, y, z の直交3軸の原点を中心とした正方体を構成し、その頂点それぞれから計8視点、辺の midpointからの計12視点、合計26視点とした。(図2参照)

† 豊橋技術科学大学 大学院 情報・知能工学専攻

‡ 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

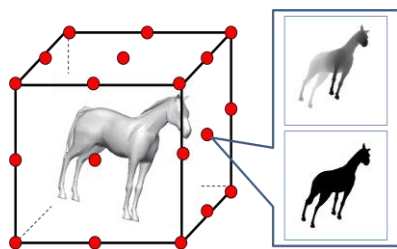


図2 視点の選択, 合計 26 視点から撮影

2. 4. 特徴量計算

Tarikら[2]は3次元モデルからシルエット画像を生成し、特徴量として回転不変な Zernike モーメントを用いた3次元モデル検索手法を提案している。この手法は、形状が特徴的であるモデルや簡単な形状で構成されるモデルには有効であるが、表面の形状を考慮していないため凹凸のあるモデルや形状が複雑なモデルには有効ではないとされている。

そこで、本稿では回転不変な Zernike モーメントに加え、表面形状の特徴を表現するため、エッジに着目した特徴量である HOG 特徴量[3]を用いる複合特徴量を提案する。HOG 特徴量は、局所的な形状変化に強い性質を持っており、セルと呼ばれる小さな局所領域のエッジ方向ごとのエッジ強度ヒストグラムを結合した多次元ベクトルで表現される。

Step1: 各ピクセルから輝度の勾配方向と強度を算出

Step2: $N \times N$ ピクセルを1セルとして、勾配方向 $0^\circ \sim 180^\circ$ を 20° ずつ9方向に分割し、1セルごとに輝度勾配ヒストグラムを作成

Step3: 各セルにおいて作成したヒストグラムを 3×3 セル1ブロックとして正規化

2. 5. 相違度計算

入力要求である2次元画像から得られた複合特徴量と、検索対象モデルから得られる26個の複合特徴量を全モデルに対して相違度計算を行い、最も小さい値を入力要求とモデル間の相違度とする。

3. 実験と結果

提案手法を検証するため、評価実験を行った。評価実験には Princeton Shape Benchmark[4]の test set モデル 907 個と train set モデル 907 個を合わせた計 1814 個のモデルを検索対象データベースとする。

評価尺度は、First Tier、Second Tier、Recall、Precision を用いる。検索クエリが属するクラスの3次元モデル数を c 、検索結果の上位として返す3次元モデル数を k 、検索結果のうち検索クエリと同じクラスに属する3次元モデル数を rel とすると以下のように定義される。

$$\text{First Tier} = \frac{rel(c)}{c} \times 100 \quad \text{Second Tier} = \frac{rel(2c)}{c} \times 100$$

$$\text{Recall} = \frac{rel(k)}{c} \quad \text{Precision} = \frac{rel(k)}{k}$$

なお、比較実験には、T.F.Ansaryら[2]による手法を用い、これを Base Line とする。T.F.Ansaryらの手法は、3次元モデルを unit sphere で包囲し、その球面上に等間隔で 320 個の view point を生成する。それぞれの view point から生

成されたシルエット画像から Zernike モーメントを算出し、X-means により特徴量ごとにクラスタリング、その後 BIC により視点選択をする手法である。

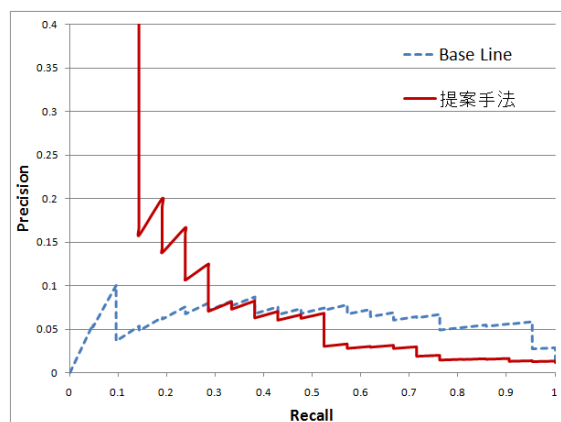


図3 再現率-適合率のプロットによる検索性能比較

表1 1-Tier, 2-Tier による検索性能比較

手法	1-Tier	2-Tier
Base Line	9.52%	9.52%
提案手法	19.1%	23.8%

1-Tier, 2-Tier による検索性能比較では、1-Tier では 9.58%、2-Tier では 14.28%、Base Line より上回っている。これより、提案手法を用いることによって、検索結果の上位に正解モデルが出現しやすくなったことがわかる。

4. まとめと今後の課題

本稿では、1枚の2次元画像を入力要求として、それに類似する3次元モデルを検索する手法を提案した。Princeton Shape Benchmark を使用した実験の結果、従来手法よりも高い検索精度を得た。

今後の課題は、より精度の高い手法の提案と、内部構造を考慮した検索手法の考案である。また、Princeton Shape Benchmark 以外のより多くの異なる3次元モデルデータベースで評価実験を行う必要がある。また、2枚以上のデジタル画像などが利用できる環境での検索性能向上調査も今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は科学研究費（基盤研究（C）No.23500119）による。

参考文献

- [1] 立間淳司, 関洋平, 青野雅樹 “多重フーリエベクトル表現に基づく3次元モデルの形状類似検索” 電子情報通信学会, 2006.
- [2] T.F.Ansary, J-P.Vandeborre, M.Daoudi “3D-Model Search Engine from photos” Proc. 6th ACM international Conference on Image and Video Retrieval (CIVR), 2007.
- [3] N.Dalal, B.Triggs “Histograms of Oriented Gradients for Human Detection” Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, 886-893, 2005.
- [4] P.Shilane, P.Min, M.Kazhdan, T.Funkhouser, The Princeton Shape Benchmark, Proc. SMI '04, pp.167-178, 2004.