

## フーリエスペクトルを用いた写真からの三次元形状類似検索 3D Shape Retrieval from a Photo by Using Fourier Spectra

田代翔輝<sup>†</sup>  
Shoki Tashiro

青野雅樹<sup>‡</sup>  
Masaki Aono

### 1. はじめに

近年工業・建築・医療・娯楽などの様々な分野において三次元モデルの利用が増加している。三次元モデルの数が増えることで効率的な管理・検索方法が必要となってくる。

既存の三次元モデルの検索手法の多くは、三次元モデルを入力として三次元モデルを検索する手法である。これらの手法では、手元に三次元モデルが無ければ検索することができない。また、三次元モデルは小規模であっても、三次元モデラーなどのオーサリングツールを用いて作成することが労力を要するため、検索の度に輸入の三次元モデルを作成することは利用者にかなり負担がかかる。

そこで本研究では利用者が簡単に用意できる入力として写真を選び、それから三次元モデルを検索する手法を提案する。

### 2. 関連研究

Ansary ら [1] は三次元モデルを複数の方向からのレンダリングによって生成した Silhouette 画像から、Zernike Moment と確率論を用いた手法を提案した。

岩渕ら [2] は Silhouette 画像からの Zernike Moment と、Depth Buffer 画像から HOG 特徴量に主成分分析を行ったものの両方を組み合わせた複合特徴量により高い検索精度を得ることに成功した。

また我々の先行研究として Silhouette 画像、Contour 画像、Edge 画像のフーリエスペクトルを特徴量とし、それらを複合する手法 [3] も提案した。

### 3. 提案手法

#### 3.1. 三次元モデルの特徴量抽出

提案手法での特徴量抽出を以下のように行った。(1) まず三次元モデルの姿勢正規化を行い、(2) 三次元モデルを奥行陰影投影によって Depth Buffer 画像を生成、(3) Silhouette 画像、Contour 画像、Multivalued Laplacian Edge 画像、Binary Laplacian Edge 画像の生成（これらの画像については後述）、(4) それらの画像を極座標へ変換し、(5) フーリエ変換を行い低周波成分の抽出を行った。この低周波のフーリエスペクトル特徴量として定義し、それら 5 種類を複合することが主な提案手法である。以下それぞれの手順での詳しい処理を示す。

#### (1) 三次元モデルの姿勢正規化

姿勢正規化には Point SVD, Normal SVD [4] を用いる。これによってモデルの大きさ、向き、位置の任意性を解決する。複数の姿勢正規化方法を用いたのは、三次元モデルによって有効な姿勢正規化方法

が異なることと、後の投影を行う際の視点数が少ないためである。

#### (2) 三次元モデルの奥行陰影投影による Depth Buffer 画像の生成

三次元モデルを、ある視点から距離に応じて輝度値を変化させた Depth Buffer 画像を生成する。投影を行う視点数は  $n$  である。また Depth Buffer 画像の大きさは  $256 \times 256$  とした。

#### (3) 4 画像の生成

Depth Buffer 画像から、物体の形状を二値で表した Silhouette 画像を生成する。この Silhouette 画像に対して外輪郭抽出を行い Contour 画像を生成する。また Depth Buffer 画像に対してラプラシアンフィルタをかけて Multivalued Laplacian Edge 画像を生成した後、同じく二値化を行い Binary Laplacian Edge 画像を生成する。この流れを図 3 に示す。

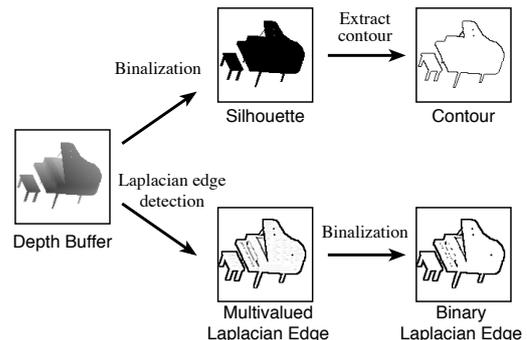


図 1: 画像生成の流れ

#### (4) 画像の極座標変換

これら 5 画像を、画素を元の画像の中心からの距離  $r$  と角度  $\theta$  で表す極座標画像へ変換する。 $r$  は 0 から 127 までの値、 $\theta$  は 0 から  $2\pi$  の値を 512 等分し量子化したものを用いる。画像の横軸が  $r$  を、縦軸が  $\theta$  を表すことで、画像の大きさは  $128 \times 512$  となる。

#### (5) 極座標変換した画像のフーリエスペクトル抽出

極座標変換を行った画像をフーリエ変換しフーリエスペクトルを計算する。求めたフーリエスペクトルのうち低周波成分のみを用いる。低周波成分は、Multivalued Laplacian Edge 画像から得られたフーリエスペクトルでは  $r$  を 4 成分、 $\theta$  を 16 成分、他の 4 画像から得られたフーリエスペクトルでは  $r$  を 8 成分、 $\theta$  を 32 成分を用いる。

<sup>†</sup>豊橋技術科学大学 大学院 情報・知能工学専攻

<sup>‡</sup>豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

### 3.2. 入力からの特徴量抽出

入力となる写真から得られる特徴量は、最終的に三次元モデルから得られた特徴量と比較可能でなければならないため、次の手順で求めた。(1)まず入力となる写真の大きさの正規化を行い、(2)Silhouette 画像, Contour 画像, Multivalued Laplacian Edge 画像, Binary Laplacian Edge 画像を生成、(3)画像の極座標変換、(4)フーリエスペクトルの低周波成分の抽出、を行った。これらの処理によって比較可能な特徴量を抽出できる。

### 3.3. 相違度計算

一つの三次元モデル  $M$  から、Depth Buffer 画像 ( $d$ ), Silhouette 画像 ( $s$ ), Contour 画像 ( $c$ ), Multivalued Laplacian Edge 画像 ( $m$ ), Binary Laplacian Edge 画像 ( $b$ ) の特徴量は  $n$  個得られる。一方、写真  $I$  からはそれぞれ 1 個ずつ得られる。画像  $k(k \in \{d, s, c, m, b\})$  における  $I$  と  $M$  の相違度  $D_k$  は式 (1) で算出した。

$$D_k(I, M) = \min(D_{k,1}, D_{k,2}, \dots, D_{k,n}) \quad (1)$$

$D_{k,i}(i = 1, 2, \dots, n)$  の計算には Manhattan 距離を用いる。最終的に  $I$  と  $M$  の相違度  $D$  は重み  $w_k$  を用いて式 (2) で算出した。

$$D(I, M) = w_d D_d + w_s D_s + w_c D_c + w_m D_m + w_b D_b \quad (2)$$

## 4. 評価実験

提案手法の有用性を検証するために評価実験を行った。三次元モデルのデータセットとして Princeton Shape Benchmark(PSB) を使用した。これは 1814 モデル 161 クラスから構成される。入力となる写真は PSB で定義されているクラス名をキーワードとして画像検索を行い、入手した。

### 4.1. 視点数の評価

それぞれの特徴量において、視点数を変えて評価を行った。この結果、特徴量やクラスによって有効な視点数が違うことを確認した。この後の実験で用いる視点数は、この実験を通して最も良い精度が得られたものを用いた。

### 4.2. 特徴量複合の評価

特徴量の組み合わせを複数パターン作り、評価を行った。この結果、全ての特徴を組み合わせたものが一番良かったが、Depth Buffer, Silhouette, Binary Laplacian Edge の 3 つの組み合わせでも全ての特徴を組み合わせたと同等の精度であることも確認した。

### 4.3. 比較実験

ベースラインは岩瀬ら [2] の手法とし、評価尺度には Recall, Precision を用いた。

Recall-Precision 曲線の比較図を図 2 に示す。図 2 において、Recall が 0.3 までは提案手法がベースラインより高い精度であることが確認できる。Recall が 0.3 以上からは同等の性能であった。

次に dining chair クラスの画像で検索し、その上位 3 件をを図 4.3 に示す。図 4.3 において、ベースラインでは dining chair クラスの三次元モデルが現れなかったが、提案手法では 3 件とも目的のモデルであることが確認できる。

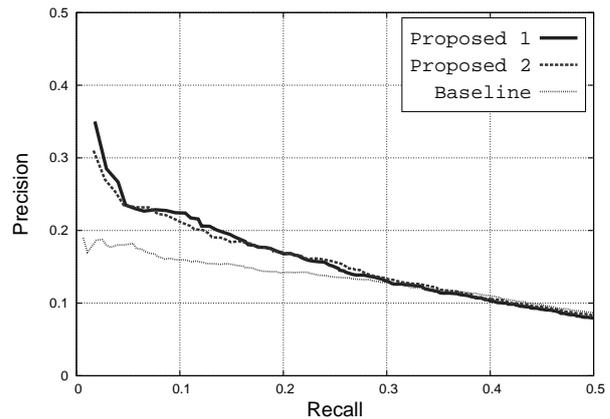


図 2: Recall-Precision 曲線

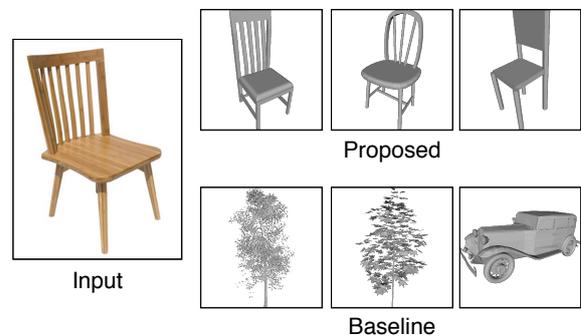


図 3: dining chair の検索例

## 5. まとめ

本研究ではフーリエスペクトルを用いて一枚の写真から三次元形状モデルを検索する手法を提案し、提案手法が既存手法を上回る精度を得ることができた。

今後の課題として、機械学習を取り入れること、レンダリングを行う際の有効な視点を探すこと、局所特徴量のように全く別の特徴量を加えることなどが挙げられる。

## 参考文献

- [1] Tarik Filali Ansary, Jean-Phillipe Vandeborre, and Mohamed Daoudi. On 3d retrieval from photos. In *Proceedings of the Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission (3DPVT'06)*, 3DPVT '06, pp. 687–694. IEEE Computer Society, 2006.
- [2] 岩瀬寛樹, 青野雅樹. "2次元画像を入力要求とした3次元モデル類似検索". 情報科学技術フォーラム (FIT2011), Sep. 2011.
- [3] 田代翔輝, 青野雅樹. "2次元画像による3次元物体モデルの検索". 情報処理学会第75回全国大会, Mar. 2013.
- [4] 立間淳司, 関洋平, 青野雅樹, 大淵竜太郎. "多重フーリエスペクトル表現に基づく三次元モデルの形状類似検索". 電子情報通信学会論文誌, Vol. 91, No. 1, pp. 23–36, Jan. 2008.