

モルフォロジー演算による3次元形状の類似度判定 Similarity Estimation of 3D Model Using Mathematical Morphology

手島 裕詞†
Yuji Teshima

西尾 孝治‡
Koji Nishio

小堀 研一‡
Ken-ichi Kobori

1. まえがき

近年では、3次元形状を対象とした類似度検索の需要が大きくなってきている。従来は、主に製品の名前や形状を表現するIDを付加していた。しかし、類似している形状を名前やIDで検索しようとする、膨大な製品名やIDを意識しなければならない。そこで本研究では、形状全体の特徴量を算出し、形状そのものを用いて類似度検索を行う。

3次元形状を検索する際には、形状の向きや位置を考慮に入れずに類似度を求める方法[1]や形状の位置合せを行った後に類似度を求める方法[2]がある。本研究では、共分散行列を用いて形状の主軸を求め、その主軸をもとに位置合せを行う[2]。次に画像処理手法の一つであるモルフォロジー演算を用いて形状の特徴量を抽出し、類似度判定を行う。まず、モルフォロジー演算[3]のOpeningオペレータおよびClosingオペレータを用いて検索形状に収縮および膨張処理をそれぞれ繰り返し施す。その際に特徴を表現している複数の形状が得られる。この複数の形状に対して、標準偏差を求めることで類似度判定を行う手法を提案する。また実験を行い、提案手法の有効性を検証する。

2. モルフォロジカルオペレータ

モルフォロジー演算には、ミンコフスキー和およびミンコフスキー差という二つの基本演算があり、これら二つを組み合わせることで様々なモルフォロジカルオペレータを構成している。演算には、フィルタと呼ばれる位置ベクトルの集合で表されたものを用いる。ここでフィルタをBと表すことにする。処理対象画像AをBの全ての位置ベクトルに従って平行移動を行い論理和をとったものがミンコフスキー和であり、論理積をとったものがミンコフスキー差である。提案手法で用いるOpeningオペレータは、フィルタの位置ベクトルを原点に対して反転させたものBsを用いてミンコフスキー差を行い(以下エロージョン)、その結果に対してBを用いてミンコフスキー和を行うものである。Closingオペレータは、Bsを用いてミンコフスキー和(ディレーション)を行い、その結果に対してBを用いてミンコフスキー差を行うものである。

3. 類似度判定手法

本システムでは、検索対象を3次元境界表現モデルとし、それをボクセルモデルに変換し、モルフォロジカルオペレータを施して特徴量を抽出する。次に、抽出した特徴量をもとに、あらかじめデータベース内に格納されている特徴量とを照合し類似度判定を行い、似ている数個の形状を検索する。以下に提案手法の処理手順を示す。

- ① 形状を表現する黒ボクセルに対して共分散行列を求め、その固有ベクトルを形状の主軸とし位置合せを行う。
- ② モルフォロジカルオペレータを繰り返し施し、得られた複数の形状から特徴量を抽出する。

- ③ 検索対象の特徴量とデータベースに格納されている形状群の特徴量とを用いて類似度判定を行い、似ているいくつかの形状を検索する。

3.1 共分散行列による位置あわせ

本システムでは、共分散行列を用いて位置合せを行う。まず、境界表現モデルをボクセルモデルに変換する。形状を表現している黒ボクセルに対して式(1)、(2)で表される共分散行列Cを求める。

$$C = \begin{pmatrix} S_x^2 & S_{xy} & S_{xz} \\ S_{xy} & S_y^2 & S_{yz} \\ S_{xz} & S_{yz} & S_z^2 \end{pmatrix} \quad \text{式(1)}$$

$$S_{ab} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - a_M)(b_i - b_M) \quad \text{式(2)}$$

また、nは黒ボクセル数であり a_M, b_M は黒ボクセルの平均を表している。次に、共分散行列の固有ベクトルを求めそれを主軸とし、固有値が大きい順にそれぞれx, y, z軸に位置合せを行う。

3.2 特徴量抽出

提案手法では、検索形状に対してClosing, Openingを繰り返し施し、検索形状を膨張させながら、また、収縮させながらそれぞれ特徴量を抽出する。以下に特徴量抽出手法について述べる。

- (i) 検索対象Fに対してClosingを施し、C+とする。このときのディレーションの結果をM+とする。また、Fに対してOpeningを施しO-とする。このときのエロージョンの結果をM-とする。
- (ii) C+とFとで排他的論理和をとり、形状のくぼみを抽出する。この領域をG+とする。またO-とFについても同様に排他的論理和をとり、形状の突起を抽出する。この領域をG-とする。
- (iii) Fの表面ボクセルと、G+およびG-とでそれぞれ論理和をとり、S+, S-とする。
- (iv) S+およびS-についてそれぞれ黒ボクセルのx, y, z値について標準偏差を求め、これを特徴量とし、保存しておく。このとき何回目のモルフォロジカルオペレータ処理で求めた特徴量かを示すlabelも保存する。
- (v) Closingでは(i)のFをM+に置き換える。またOpeningではFをM-に置き換え、前者は(i)~(iv)を指定回数繰り返し行い、後者はM-が全て白ボクセルになるまで繰り返し行い、順に特徴量を抽出する。すなわちClosing処理の回数は一定であるが、Opening処理の回数は形状によって異なる。またFの表面のみの標準偏差も求めて、Opening処理のリストに同様に保存しておく。

3.3 標準偏差による類似度

3.2節で求めたClosing処理で得られた標準偏差とOpening処理で得られた2種類の標準偏差を考慮して類似度を計算する。まず、二つの形状A, BについてClosing処理の繰り返し回数をCcとしOpening処理の繰り返し回数をそれぞれCoa, Cobとする。ここで $Coc = \max(Coa, Cob)$

† 大阪工業大学 情報科学研究科

‡ 大阪工業大学 情報科学部 情報メディア学科

Cob)とする。また、繰り返し回数 n のときの標準偏差をそれぞれ Sda_n, Sdb_n とする。Closing 処理での類似度 Sim_c は式(3)になる。

$$Sim_c = \sum_{i=1}^{Coc} \left(K_i \times \frac{\min(Sda_i, Sdb_i)}{\max(Sda_i, Sdb_i)} \right) \quad \text{式(3)}$$

ここで K_i は重み関数で式(4)で表される。

$$K_i = (x-1)^2 \left(x: \frac{i}{Cc+1} \right) \quad \text{式(4)}$$

また、Opening 処理での類似度 Sim_o は式(5)になる。

$$Sim_o = \sum_{i=1}^{Coc} \left(L_i \times \frac{\min(Sda_i, Sdb_i)}{\max(Sda_i, Sdb_i)} \right) \quad \text{式(5)}$$

ここで L_i は重みであり、形状 A, B について 2.3 節の(iii)で得られる S-の黒ボクセル数を Sa, Sb とおくと式(6)で表される。

$$L_i = \frac{Sa_i + Sb_i}{\sum_{j=1}^{Coc} (Sa_j + Sb_j)} \quad \text{式(6)}$$

式(3)と式(5)を用いて類似度 Sim を式(7)で表す。

$$Sim = \left(\frac{Cc}{Cc + Coc} \times Sim_c \right) + \left(\frac{Coc}{Cc + Coc} \times Sim_o \right) \quad \text{式(7)}$$

ここで、 Sim は 0 から 1 までの値をとり、1 に近いほど類似度が高い。

4. 実験と考察

提案手法の有効性を検証するために実験を行った。検索対象ファイルは 9 種類で、C++言語で実装した。検索対象を図 1 に、データベース内の形状を図 2 (a)~(i) に示す。また、150 人を対象に主観評価を行った。検索結果と主観評価の結果を表 1 に示す。表中の数字は類似度の高い順位を表している。実験では、空間の解像度を $128 \times 128 \times 128$ とし、フィルタの形状は半径 1 の球を用いている。

表 1 検索結果

形状	主観評価	検索結果	Sim
a	3	8	0.646817
b	9	9	0.597046
c	7	3	0.827637
d	6	4	0.797479
e	8	7	0.722744
f	4	6	0.781151
g	5	5	0.792281
h	2	2	0.866736
i	1	1	0.974181

表 1 より、飛行機の翼の部分と機体とのバランスを考慮に入れた検索ができています。また、主観評価と比較してみたところ、9 形状のうち 78% が 2 つ以内のずれであった。しかし、形状(a)と(c)は主観評価と検索結果とのずれが大きい。理由として、主観では全体のバランスよりも翼の部分を主に評価していると考えられるため、類似度に違いが生じたと考えられる。この問題の解決策として、特徴部分に

より大きい重みを付加することを検討していく。また、主観評価では、2 次元画像を提示して順序をつけてもらったため、3 次元形状全体の把握が正確にできなかったことも原因の一つである。

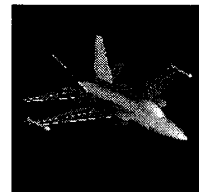


図 1 検索対象

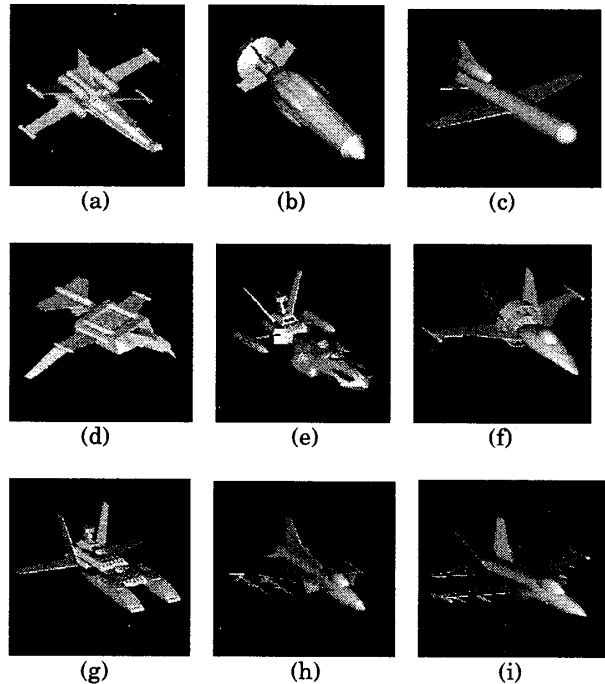


図 2 検索形状

5. あとがき

本研究では、形状の体積を考慮に入れた共分散行列を用いて位置合せを行った。また、モルフォロジカルオペレータを施して形状を膨張、収縮させて突起やくぼみを考慮に入れた特徴量を抽出した。類似度検索では、ほぼ良好な結果を得た。今後の課題として、特徴量を抽出する際のモルフォロジカルオペレータのフィルタ形状を変更して実験するとともに、類似度を算出する式の再検討を行っていきたい。

参考文献

- [1]Hilaga,Shinagawa,Kohmura,Kunii : "Topology Matching for Full Automatic Similarity Estimation of 3D Shapes",SIGGRAPH,pp.203-212,(2001)
- [2]小田切,衣鳩,武井,大淵:"慣性モーメントの包絡線を用いた 3 次元モデルの形状類似検索",情報処理学会第 6 4 回全国大会講演予稿集,pp.757-762,(2002)
- [3]小畑:"モルフォロジー",コロナ社,pp.43-58,(1996)