

距離画像検索のための特徴量の検討

Study of Features for Range Image Retrieval

丸谷 宜史† 椋木 雅之‡ 美濃 導彦‡
Takafumi Marutani Masayuki Mukunoki Michihiko Minoh

1. はじめに

距離画像検索時の特徴量に関して、距離画像の特性を考慮し、検索のために特徴量が満たすべき性質について考察した。うえて、従来使用されている特徴量を挙げ、それらの特徴量が必要な性質を満たしているかについての検討を行う。

距離画像はその画素に物体表面の該当する箇所の三次元情報を格納しており、物体形状を直接的に、かつ、正確に表現することが可能である。また、レーザスキャナ等の形状測定機器により取得が容易であるという利点もある。そのため距離画像は姿勢推定[1]、物体認識[2]、形状の再構成[3]等の種々の研究において物体を表現する情報として利用されている。

将来的に数多くの物体に対して距離画像が取得・蓄積されるようになると、実際に手元にある未知物体を、距離画像を検索キーとして用いることでその物体の情報を取得する距離画像検索への要望が高まると考えられる。実物体による距離画像検索においては検索のキーとして物体の特徴的な一部分のみを入力として与えられることが考えられる。一方で、距離画像は取得時の解像度や撮影角度で取得できる画像が異なってくるため、解像度・撮影角度の変化に対して不変でかつ一部から局所的に計算できる特徴量を基に検索を行う方法によってデータベース中からデータを効率的に検索できると考えられる。

本研究では、特徴量として曲率やモーメント、統計量といった解像度・撮影角度の変化に不変な特徴量を使う。そして、上述の特徴量を実際のデータから抽出することにより、それぞれの特徴量がどのような性質を示すかについて確かめ、距離画像検索に有用かどうかに関して検討を行った。

2. 距離画像検索

距離画像は、ある角度から見た物体の表面形状を正確に表現することが可能である。距離画像の各画素が保持する3次元座標値は形状撮影機器で定義される座標系で表されるが、実測値であるため、形状の絶対的な大きさについての情報が得られるという利点がある。また画像であるために形状表面の点の隣接関係が明白である、物体の注目部位のみの情報を取得しやすいという利点もある。

しかし、解像度の差により取得できる位置情報の粗密が異なる、撮影角度により得られる画像が異なる、撮影機器の視線方向により取得できる位置情報に偏りが生じるといった問題点も存在する。

以上の問題に対し特徴量は、下記のような条件を満たす必要がある。

- ・ 部位により値の差が明確である
- ・ 解像度の違いに対して不変である
- ・ 撮影角度の違い(回転)に対して不変である

本稿では上述の条件に加え、前章で挙げた局所的に計算で

†京都大学大学院情報学研究科

‡京都大学学術情報メディアセンター

きるという性質を満たす特徴量として、曲率、モーメント、形状分布による統計量を用い、それぞれの特性について比較を行った。

3. 距離画像検索のための特徴量

3.1 曲率

注目している点とその近傍の点群に曲面をあてはめ、注目している点に関して1次微分ベクトル P_u, P_v , 2次微分ベクトル P_{uu}, P_{uv}, P_{vv} , 法線ベクトル n を計算し、以下のようにして最大曲率 ε_{MAX} と最小曲率 ε_{MIN} を計算する。

$$\begin{aligned} E &= P_u \cdot P_u, F = P_u \cdot P_v, G = P_v \cdot P_v \\ L &= P_{uu} \cdot n, M = P_{uv} \cdot n, N = P_{vv} \cdot n, \\ K_m^g &= (LN - M^2) / (EG - F^2) \\ K_m^s &= (EN + GL - 2FM) / 2(EG - F^2) \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{MAX} = K_m + \sqrt{K_m^2 - K_g^2}$$

$$\varepsilon_{MIN} = K_m - \sqrt{K_m^2 - K_g^2}$$

曲率は代表的な特徴量であり、回転不変である。また、曲率は以降で紹介するモーメントや形状分布による統計量と違い注目画素に関する特徴である。しかし、解像度の違いによって当てはめられる曲面に差異が生じるため、同一箇所を示す画素でも同じ曲率の値が求められるとは限らない。

3.2 モーメント

モーメントの計算は Gregory らの研究[4]で利用された重心周りの2モーメントを利用し、下式のようにして求める。式中の x, y, z は重心の座標であり、 ρ は x, y, z が形状にふくまれているかを0, 1で返す関数である。

$$J_1 = \mu_{200} + \mu_{020} + \mu_{002}$$

$$J_2 = \mu_{200}\mu_{020} + \mu_{200}\mu_{002} + \mu_{020}\mu_{002} - \mu_{110}^2 - \mu_{101}^2 - \mu_{011}^2$$

$$J_3 = \mu_{200}\mu_{020}\mu_{002} + 2\mu_{110}\mu_{101}\mu_{011} - \mu_{002}\mu_{110}^2 - \mu_{020}\mu_{101}^2 - \mu_{200}\mu_{011}^2$$

$$\mu_{pqr} = \iiint (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q (z - \bar{z})^r \rho(x, y, z) dx dy dz$$

上記のモーメントは3次元空間にある物体において不変特徴量であることがわかる。ただし、距離画像に対し適用することを考えると、各物体に関し種々の視点から取得した部分形状は各々構成する点の分布、重心の位置などが異なってくるため、モーメントの値が異なってくることが考えられる。

3.3 形状分布による統計量

形状分布による統計量とは Osada らの研究[5]で利用されている方法で、本研究では具体的には以下のような手順で求めている。

1. 形状表面から任意に2点選択する
2. 選択した2点間の距離を求める
3. 1~2の操作を繰り返し、 n 個の距離を取得する

4. n 個の距離のうち最大のものを選び出し,すべての距離を最大値により正規化する.
5. 正規化した距離 $[0,1]$ に関してその区間を m 等分し,各区間に属する距離の割合 $p(k)(k=0, \dots, m-1)$ を求め,その区間の値とする.

上記の手順により,ある対象物体の表面形状に関して $(p(0), \dots, p(m-1))$ という m 次元の特徴量が得られる.この特徴量は,その手順からも分かるように回転に不変である.また割合を利用しているので,解像度に関してもある程度不変であることが期待できる.ただし,モーメントと同様ある程度の範囲を必要とするため,同一部分に対しても構成点の分布の状況により,その特徴量の値が異なってくることが予想される.

4. 実験

本章では前章で挙げた各特徴量が部分の判別に有効か,また,解像度・回転に対しても頑健かを確かめるため複数の部分に対し,様々な撮影条件で距離画像を取得し各特徴量を抽出し,部位,解像度,撮影角度の違いによる影響を記録する実験を行った.

実験に使用するデータは,ある形状から距離画像を撮影し,3箇所の部分(以下A,B,C)に関して切り出したものである.それらA,B,Cに関して実験した結果が以下の図1~3である.左側の図は解像度のみを3段階に変えて実験した結果である.右側の図は撮影角度のみを5段階に変えて実験した結果である.図3は特徴量をヒストグラムにしたものである.

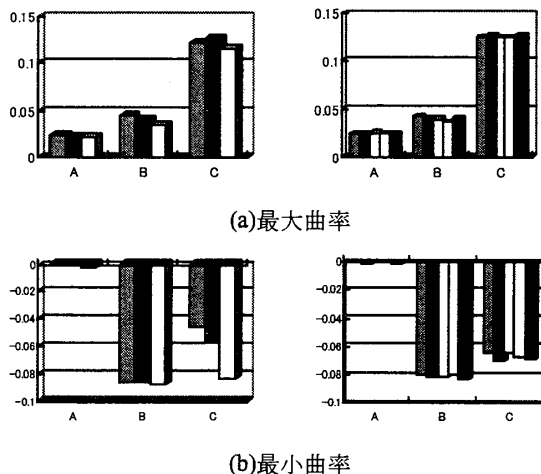


図1: 曲率による特徴量

結果を見る限り,どの特徴量に関しても解像度や撮影角度が同一である場合には形状毎の差が明確であることがわかる.しかし,各特徴量それぞれに何らかの問題が存在する.曲率では解像度による変化が顕著に表れている.また,モーメントでは距離画像を構成する点の数の差によるものと思われる差が確認できる.形状分布に関しても回転によって差が生じていることが確認できる.そのためどの特徴量とも検索に使用するためには何らかの形でこれらの問題に対処しなくてはならないことが確認できた.

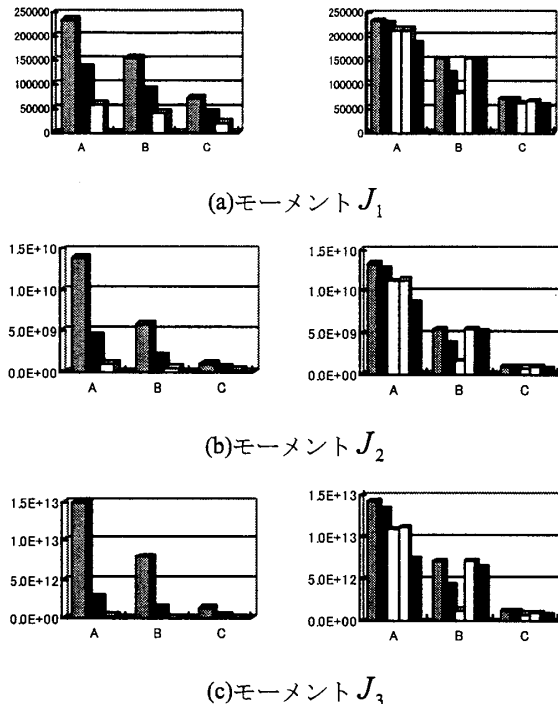


図2: モーメントによる特徴量

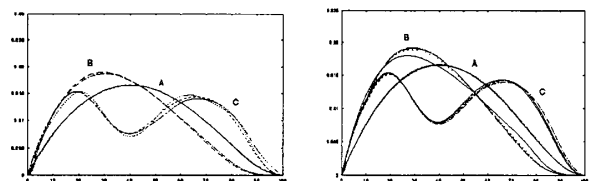


図3: 形状分布による特徴量

5. おわりに

本稿では,距離画像検索のための特徴量に関して検討・実験を行った.今回実験を行った限りでは各特徴量それぞれに問題が見られたため,検索のための特徴量としての有用性に関して正確に判断を下すことはできなかった.今後は各特徴量に関して各々の問題を解決したうえで,検索のための特徴量を考えていきたい.

参考文献

- [1]天野敏之,日浦慎作,山口証,井口征士,“固有空間法に基づく距離画像からの物体の姿勢検出”,信学論(D-II),j80-D-II,5,pp.1136-1143(1997-05)
- [2]武口智行,金子俊一,近藤司,五十嵐悟,“距離アスペクト画像に基づく物体認識”,信学技報,PRMU99-214,pp.77-82(2000-01)
- [3]Chu-Song Chen, Yi-Ping Hung, “RANSAC-Based DARCES: A New Approach to Fast Automatic Registration of Partially Overlapping Range Images”, IEEE Trans. PAMI, vol. 21, no. 11, pp. 1229-1234, 1999
- [4]Gregory C. Sharp, Sang W. Lee, David K. Wehe, “ICP registration Using Invariant Features”, IEEE Trans. on PAMI, vol. 24, no. 1, pp. 90-102, 2002
- [5]R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, D. Dobkin, “Matching 3D Models with Shape Distribution”, <http://www.cs.princeton.edu/gfx/papers/osada01smi.pdf>.