

主成分分析を用いた点群特徴抽出に関する一検討

Study on Feature Extraction of Point Cloud using Principal Component Analysis

赤塚紘輝[†] 原潤一[‡] § 渡辺裕^{†‡}
 Hiroki AKATSUKA[†] Junichi HARA[‡] § Hiroshi WATANABE^{†‡}

[†] 早稲田大学大学院基幹理工学研究科 [‡] 早稲田大学国際情報通信センター § 株式会社リコー

[†] Graduate School of Fundamental Science and Engineering, Waseda University

[‡] Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University

§ RICHO Company, LTD

1. まえがき

近年、3次元点群データの取得可能なLiDARの高精度化および低価格化により、建造物の形状測定や地理データ取得による建造物の形状保存、3D地図マップの作成などが行われている。3次元点群処理技術としてノイズ処理や物体認識が挙げられるが、それらの処理技術の精度は、点群の形状やノイズによって大きく左右される。したがって、3次元点群を処理する上で点群形状の特徴抽出は重要な技術であると考えられる。

本稿では、点群ノイズ処理のための点群特徴抽出を目的とし、主成分分析を用いた特徴抽出手法および点群をエッジ、曲面、平面の3種類にセグメンテーションする手法を提案する。

2. 従来手法

点群特徴抽出手法としてDoN (Difference of Normals)[1], DoC (Difference of Curvatures)[2]およびMS (マルチスケール)特徴[3][4]が挙げられる。

DoNは注目点において二つの近傍範囲で主成分分析を行うことで法線を推定し、求めた二つの差分ベクトルの大きさを特徴量とする手法である。得られる結果は近傍範囲の影響を受ける。

DoCは注目点において二つの近傍範囲で主成分分析を行うことで近似曲率を算出し、求めた二つの曲率の差分を特徴量とする手法である。

MS特徴は閾値以上の近似曲率の割合を表す特徴量である。注目点における近傍範囲を複数変化させ、それぞれに対し主成分分析を行い、求めた複数の近似曲率を算出する。閾値を求めることで近似曲率が閾値以上の割合をMS特徴としている。

3. 提案手法

3.1 特徴抽出

従来手法ではどれも近傍範囲を複数扱わなくてはならない。そこで近傍範囲を一つだけ用いる手法を提案する。主成分分析によって得られた法線から平面方程式を算出し、平面上に近傍範囲内の点が存在する割合を特徴量とする手法である。

注目点 i の近傍範囲で主成分分析を行うことで法線ベクトル \mathbf{n}_i を求める。法線ベクトルと注目点を用いることで平面方程式を算出できる。平面方程式上に近傍点が存在するということは、注目点を \mathbf{q} 、近傍点を \mathbf{p}_i とすると式(1)を満たすということである。

$$|(\mathbf{p}_i - \mathbf{q})\mathbf{n}_i| \leq \tau \quad (1)$$

ここで τ は点が平面上に存在する許容誤差を表している。したがって近傍点群数を N とすると特徴量 ω_i は式(2)によって算出できる。

$$\omega_i = \frac{1}{N} \sum \Omega_i(\tau), \quad \Omega_i(\tau) = \begin{cases} 1, & |(\mathbf{p}_i - \mathbf{q})\mathbf{n}_i| \geq \tau \\ 0, & |(\mathbf{p}_i - \mathbf{q})\mathbf{n}_i| < \tau \end{cases} \quad (2)$$

これにより、複数の近傍範囲を用いずに一つの近傍範囲のみでの特徴抽出が可能になる。入力点群にノイズが付与されている場合、許容誤差を変化させることでノイズへの対応も可能である。

3.2 セグメンテーション

得られた点群特徴を用いて点群形状を把握することを考える。3D形状はエッジ、平面、曲面の3種類で構成されているため、特徴抽出を用いて点群をエッジ、平面、曲面にセグメンテーションする手法を提案する。

まず、近傍範囲を小さい範囲から少しずつ大きい範囲へと変化させ、最初に特徴が表れる部分をエッジと仮定する。したがって点群はエッジとそれ以外に分けることができる。

次にエッジ以外の部分には平面と曲面が混在していると考えられるため、平面か曲面かを推定する処理を行う。エッジにより点群の領域分割を行い、ある領域内の任意の点の法線ベクトルと同じ領域内の点群の法線ベクトルの角度を算出する。図1のように法線ベクトルは平面であればすべて平行であり、曲面であれば様々な方向を向くと考えられる。したがって法線ベクトルの角度の差の平均を求めることで平面か曲面かの推定が可能である。つまり、注目点の法線ベクトルを \mathbf{n}_0 、同じ領域内の点の法線ベクトルを $\mathbf{n}_i (i = 1, \dots, N)$ とすると、式(3)により平面か曲面かを推定できる。

$$\frac{1}{N} \sum \arccos \frac{\mathbf{n}_0 \cdot \mathbf{n}_i}{|\mathbf{n}_0| |\mathbf{n}_i|} \leq \tau' \quad (3)$$

ここで τ' は角度の差に対する閾値であり、閾値以上であれば曲面、閾値以下であれば平面と求めるこ

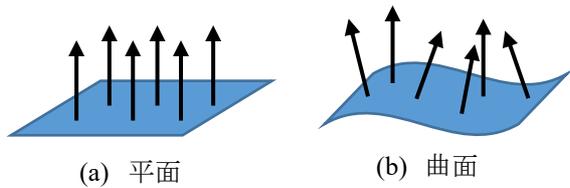


図 1. 平面と曲面における法線ベクトルとができる。

4. 実験および結果

4.1 特徴抽出

入力点群は 1 辺 50cm の正方形 3 面から構成されたモデルとする。DoN および DoC の近傍範囲は 7.5cm と 15.0cm, MS 特徴の近傍範囲は 7.5cm から 15.0cm まで 2.5cm ずつ変化させ, 近似曲率の閾値は 0.04 とした。提案手法の近傍範囲は 15.0cm, 許容誤差範囲は 1.5 とした。得られた特徴量は最大値を赤, 最小値を青とするヒートマップで作成する。実験結果を図 2 に示す。DoN と DoC ではエッジに対しては特徴を示さず, エッジ周辺に対して強い特徴を示している。それに対し MS 特徴と提案手法ではエッジに対して強い特徴を示している。さらに提案手法では MS 特徴より細部に特徴を示している。

ノイズに対しての挙動を確認するため, 入力点群に平均が 0, 標準偏差が 1.0 のガウシアンノイズを付与したモデルに対しても同様の実験を行った。近傍範囲は変化させず, 提案手法の許容誤差は 3.0 とした。得られた特徴量でヒートマップを作成し, 結果を図 3 に示す。DoC と MS 特徴ではノイズを付与することで特徴が変化している部分がある。それに対し, DoN と提案手法ではノイズ付与する前と同等の特徴結果を示している。

4.2 セグメンテーション

入力点群は 1 辺 50cm の正方形 3 面から構成されたモデルに半径 20cm の半球を組み合わせたモデルとする。3.1 節の提案手法により特徴を抽出し, 近傍範囲を 5.0cm から 2.5cm ずつ増加させ, 特徴が最初に表れた近傍範囲を用いる。実験により今回用いる近傍範囲は 5.0cm とした。エッジを赤, 平面を青, 曲面を緑にセグメンテーションした結果を図 4 に示す。半球の部分が緑, 平面の部分が青, エッジの部分が赤とセグメンテーションされているのがわかる。

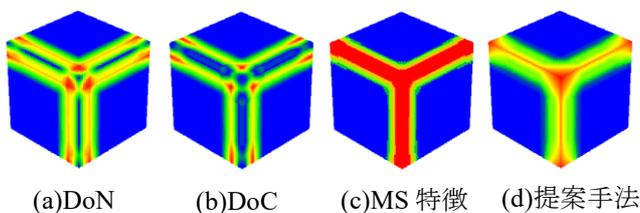


図 2. 特徴抽出手法法の比較結果(ノイズなし)

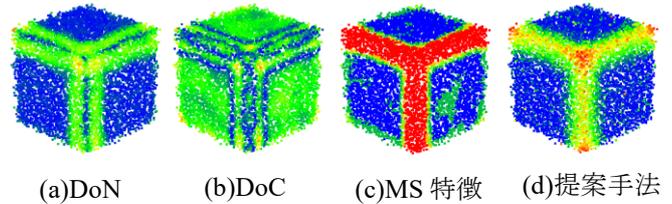


図 3. 特徴抽出手法法の比較結果(ノイズあり)

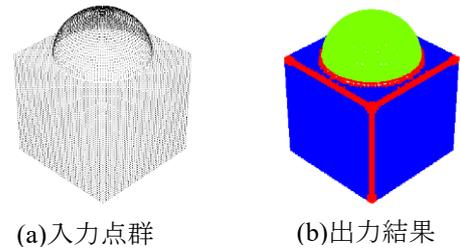


図 4. セグメンテーション結果

5. むすび

特徴抽出では平面方程式を用いることで, 一つの近傍範囲のみでの特徴抽出を可能とした。提案手法では従来手法よりもエッジ特徴を細部に捉えることができた。さらにノイズが存在する場合でも許容誤差を変化させることで特徴を同じように抽出することができることからノイズに対しても頑健な手法であると確認できた。今後, ノイズが付与された場合に対する定量的評価や近傍範囲および許容誤差の最適パラメータ自動導出手法の検討が必要であると考えられる。

セグメンテーションではエッジにより点群を分割し, 法線ベクトルを用いることでエッジ, 平面および曲面への分類を可能とした。本実験では整形されたモデルに対して行っているため, 今後ノイズ付与されたモデルや計測したモデルに対して実験し, 提案手法の汎用性を確認する必要がある。

6. 参考文献

- [1]. Y.Ioannou, B.Taati, R.Hrrap, and M.Greenspan, "Difference of Normals as a Multi-scale Operator in Unorganized Point Clouds", 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission, pp.501-508, Oct. 2012
- [2]. 早田, 岩田, "3次元点群からのマルチスケール特徴抽出法に関する検討", 情報処理学会オーディオビジュアル複合情報処理研究会報告(AVM), Vol.2015-AVM-89, No.7, pp.1-6, Aug. 2015
- [3]. M.Pauly, R.Keiser, and M.Gross, "Multi-scale Feature Extraction on Point-Sampled Surfaces", Computer graphics forum, Vol.22, No.3, pp.281-289, Nov. 2003
- [4]. 加藤, 伊達, 金井, "レーザ計測点群に対する局所形状特徴量の抽出とその応用—各所形状特徴量の比較と特徴線生成への応用—", 精密工学会大会学術講演会公演論文集, No.H14, Mar. 2017