

点群ノイズ整形のための点群特徴抽出

Feature Extraction of Point Cloud for Noise Shaping of Point Cloud

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所 [‡] 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

§ RICOH 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におけるノイズの特性を理解し、特徴を抽出すること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、点群におけるノイズ特性を調査することで、ノイズ特性を考慮した点群特徴抽出手法を提案する。

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ベクトルを推定し、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。得られた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。閾値を設定し、近似曲率が閾値以上の割合をMS特徴としている。

3. VLP-16におけるノイズ

3.1. 点群におけるノイズの考慮

点群のノイズ特性を考慮せずに処理すると過大な精度が得られたり、過小な精度にしかならなかったりする可能性がある。このようにノイズが含まれる計測データを扱う場合、点群におけるノイズ特性を考慮する必要があると考えられる。しかし、点群におけるノイズ特性について言及している論文は少ない。したがって、本実験で用いる

Velodyne VLP-16におけるノイズ特性を調査する。

3.2. VLP-16の仕様

VLP-16では15度から-15度まで2度ずつ角度のついた16本のレーザーを回転しながら照射し、そのレーザーの反射時間によって計測を行っている。16本のレーザーは1本ずつ2.304μs間隔で照射され、16本のレーザー照射後、再度照射されるまで18.43μsかかる。つまり、点どうしの角度は水平角では約0.2度、仰角では2度の差がある。

3.3. VLP-16で見られるノイズ特性

VLP-16で見られるノイズがどのような分布で生じているか実験により確かめる。VLP-16の内部座標と実空間の座標を合わせ、VLP-16と対象物を3.3245mほど離して設置し計測を行った。対象物までの実測距離とVLP-16で計測された距離の誤差を算出し、得られた誤差分布を図1に示す。図1では0.3cm区切りの誤差の出現回数をヒストグラムで表している。VLP-16では、ある水平角、仰角で照射したレーザーの反射時間によって距離が計測されている。つまり、誤差は水平角、仰角によるものではなく、反射時間によるものと考えられる。したがって距離の誤差の算出には最短距離ではなく、図2のようにVLP-16からの角度が等しい点との距離を用いる。

図1のグラフよりVLP-16で測定された点のノイズはVLP-16からの距離の正規分布に従うと推測される。正規分布であると仮定することで平均-0.82cm、標準偏差0.78cmと推定可能となる。

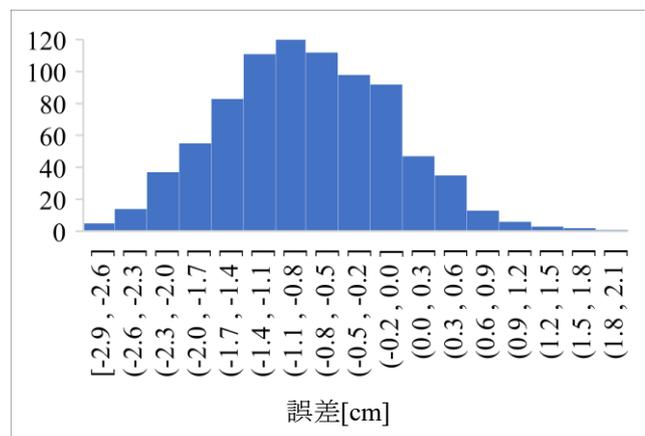


図1. VLP-16で計測されたデータの誤差分布

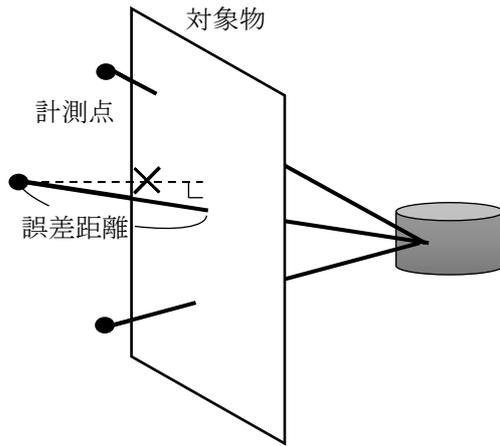


図 2. 算出する誤差距離

今回実験環境はメジャーを用いてできる限り正しい計測を行ったが、誤差は少なからず生じており、平均が 0cm でないのはこれが原因の一つであると考えられる。

3.3245m の距離で標準偏差 0.78cm であったが、仕様では 25m で標準偏差 3cm とされている。距離によって標準偏差は一次関数的に増加すると仮定すると距離 x で生じるノイズの標準偏差 σ は式(1)に従うと考えられる。

$$\sigma[\text{cm}] = 1.02x[\text{m}] + 0.45 \quad (1)$$

4. 提案手法

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しない割合を特徴量とする手法である。ここで近傍範囲の点群が存在する割合でないのは、平面を特徴とするのではなく、エッジを特徴とするためである。

入力点群 $\mathbf{q}_i (i = 1, \dots, N)$ が与えられたとする。注目点 \mathbf{q}_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しないということは、近傍点を $\mathbf{p}_j (j = 1, \dots, M)$ とすると式(2)を満たすということである。

$$|(\mathbf{p}_j - \mathbf{q}_i)\mathbf{n}_i| > \tau \quad (2)$$

ここで τ は推定平面と近傍点との距離であり、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 M とすると特徴量 ω_i は式(3)

によって算出できる。

$$\omega_i = \frac{1}{M} \sum \Omega_{i,j}, \quad \Omega_{i,j} = \begin{cases} 1, & |(\mathbf{p}_j - \mathbf{q}_i)\mathbf{n}_i| > \tau \\ 0, & |(\mathbf{p}_j - \mathbf{q}_i)\mathbf{n}_i| \leq \tau \end{cases} \quad (3)$$

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。

VLP-16 を用いるとノイズの標準偏差は 3.3 節より式(1)となる。正規分布では平均値を μ とすると全体の 99.7% が $\mu \pm 3\sigma$ の範囲に分布している。このことから、許容誤差 τ は $\tau = 3\sigma$ と算出可能となる。

5. 実験および結果

5.1. 理想モデルによる実験

入力点群は 1 辺 50cm の正方形 3 面から構成されたモデルが計測点から y 方向に +300cm, z 方向に -400cm の位置に存在すると仮定し、平均値が 0cm, 標準偏差が式(1)に従うような距離に対するガウシアンノイズを付与したモデルであり、点群数は 7801 点である。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 7.5cm, 許容誤差範囲は $\tau = 3\sigma$ に従った。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 3 に示す。また Python3.6, Intel® Core™ i7-7700 @ 3.60GHz の実行環境での各処理時間を表 1 に示す。

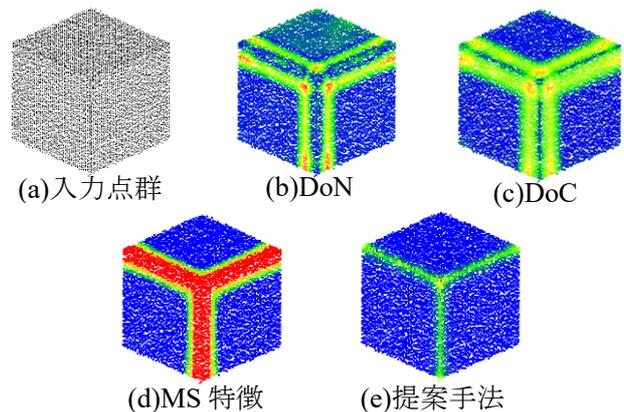


図 3. 理想モデルによる実験結果

表 1. 理想モデルの点群 1 点あたりの処理時間

手法	時間[ms]
DoN	0.47
DoC	0.46
MS 特徴	0.91
提案手法	0.23

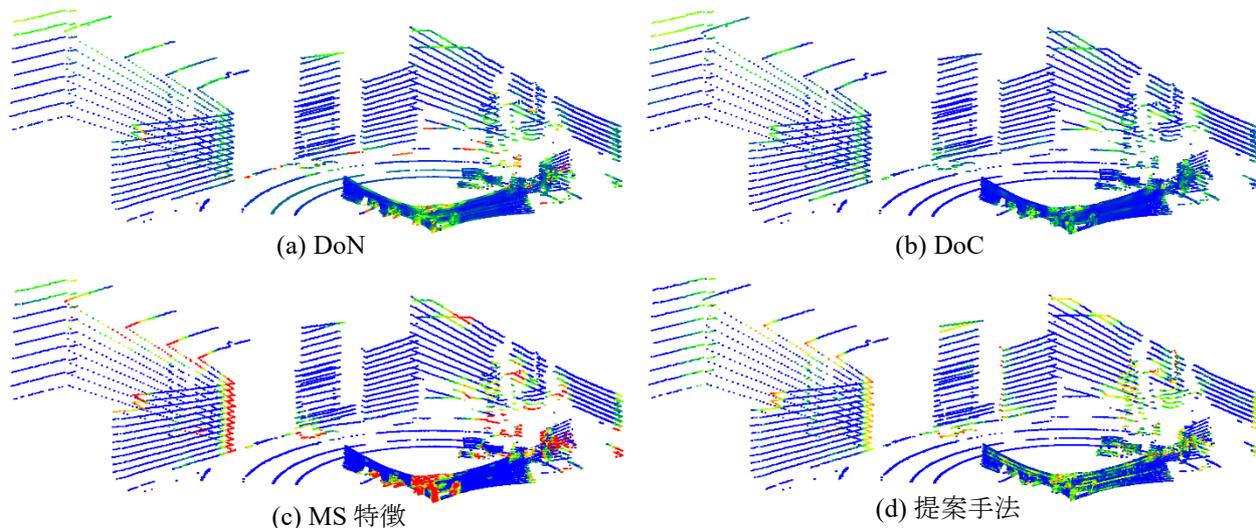


図 4. VLP-16 で計測されたモデルによる実験結果

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。

5.2. VLP-16 で計測されたモデルによる実験

VLP-16 で計測された点群数 28448 点のモデルに対して実験を行う。VLP-16 は点どうしの仰角の差が 2 度である。したがってどの注目点においても 2 度以下の近傍半径の場合、z 方向に対する最近傍点すら取得できないことになる。それを防ぎ、どの距離においても近傍点群数の差が大きく出ないようにするため、どの距離に対しても注目点に対して ± 4 度以内が近傍範囲となるようにした。また、DoN, DoC ではもう一つの近傍範囲を ± 8 度以内となるようにし。MS では ± 4 度から ± 8 度まで ± 1 度ずつ近傍範囲を変化させた。閾値は 5.1 節の実験と同様に設定した。実験結果を図 4 に示す。また 5.1 節と同様の実験環境における各処理時間を表 2 に示す。

どの手法も実際に計測されたモデルに対して理想モデルと同様の結果を得ることができた。提案手法が一番細部の特徴を捉えることができていることが確認できる。

表 2. 計測モデルの点群 1 点あたりの処理時間

手法	時間[ms]
DoN	0.40
DoC	0.39
MS 特徴	0.93
提案手法	0.21

6. むすび

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、処理時間短縮にも成功した。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、VLP-16 におけるノイズ特性を調査することで近傍半径、許容誤差を自動的に算出することが可能となった。平面方程式を算出する際、近傍範囲における法線ベクトルを用いているが、ノイズ特性が距離における正規分布に従うことが確認されたため、今後、最小二乗平面を用いることでより誤差の少ない特徴抽出が可能になると考えられる。

7. 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
- [5]. 赤塚, 原, 渡辺, "主成分分析を用いた点群特徴抽出に関する一検討", 研究報告オーディオビジュアル複合情報処理(AVM), Vol.2019-AVM-104, No.3, pp.1-2, Feb.2019