H-003

法線ベクトルの内積分布を用いた３次元点群のクラスタ解析

堀田 富宝† 岩切 宗利†
† 防衛大学校 情報工学科

1 はじめに

3D センシング技術の進展と普及により，取得した 3D データから空間情報を分析し，理解する手法の需要が高まっている．この 3D データは膨大な量となるため，有益な情報を抽出する技術は基礎的な技術として重要である．本報告では，法線ベクトルの内積分布を用いた，3 次元点群のクラスタリング手法を提案する．3 次元点群から得られる法線ベクトルは，3 次元的な表面形状に依存して変化する特性を持つ．本研究では，局所領域内の法線ベクトル間の内積値の分布を用いたクラスタ解析について検討した．実験結果から，提案手法に用いた法線ベクトルの内積値分布は，クラスタリングすることで，エッジ，頂点及び平面に分類できることが分かった．

2 提案手法

2.1 概要

交差する平面の各面中心部の法線ベクトルは面に対し垂直になるが，エッジ付近の法線ベクトルは，面に対し垂直にならない．この特徴に注目し，本提案手法では，ある点とその近傍に複数存在する点の法線ベクトルから求まる内積値の分布から次の手順により点群をグループ化する．

(a) 点群に含まれる全ての点の法線ベクトルを算出．
(b) ある点の法線ベクトルと，その点から特定の距離内にある点の法線ベクトルとの内積をすべて算出．
(c) (b) で得た値より内積値の平均値 m 及び内積値の分散 σ^2 を算出．

2.2 法線ベクトル

法線ベクトルは，次の手順により算出する [1]．

(a) 任意の点 $\boldsymbol{p}_i$ について，その点から半径 r の球内にある点群 $\mathbb{P}_i^k(r)$ を求める．この点群内の点の数を k 個とする．k に $\boldsymbol{p}_i$ を含めないものとし，近傍探索は KD 木を用いる．
(b) 点 $\boldsymbol{p}_i$ と点群 $\mathbb{P}_i^k(r)$ を含む点群の共分散行列 C を求める．
(c) C から固有ベクトルを求め，最小固有値に対応する正規化した法線ベクトル $\boldsymbol{n}_i$ を決定する．

2.3 内積

点 $\boldsymbol{p}_i$ の法線ベクトル $\boldsymbol{n}_i$ と距離 r にある点の法線ベクトル $\boldsymbol{n}_j^r$ の内積 $n_{(i,j)}(r)$ は，

$$n_{(i,j)}(r) = |\boldsymbol{n}_i \cdot \boldsymbol{n}_j^r|, \quad 0 \leq \|n_{(i,j)}(r)\| \leq 1$$

により求める．

2.4 平均内積値

平均内積値は，ある注目点周辺部の法線ベクトルの分布に関する代表値である．点 $\boldsymbol{p}_i$ から，距離 r_l の範囲内にある k 個の点からなる点群 $\mathbb{P}_i^k(r_l)$ の平均内積値 m_i は，

$$m_i = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k}(n_{(i,j)}(r)),$$

$$\mathbb{P}_i^k(r_l) = \{\boldsymbol{p}_{(i,j)}^r \,|\, j = 1, 2, \ldots, k\}, 0 \leq r \leq r_l$$

により求める．

2.5 内積値の分散

点群 $\mathbb{P}_i^k(r_l)$ の内積値に関する分散 σ^2 は，

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k}(n_{(i,j)}(r) - m_i)^2$$

により求める．

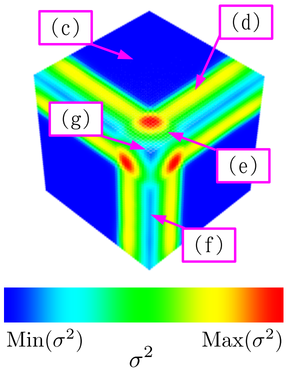
2.6 クラスタ解析

すべての点について，m 及び σ^2 を算出し，σ^2 を用いて各点を特徴付ける．また，m 及び σ^2 に関する 3D ヒストグラムによりクラスタ解析を行う．

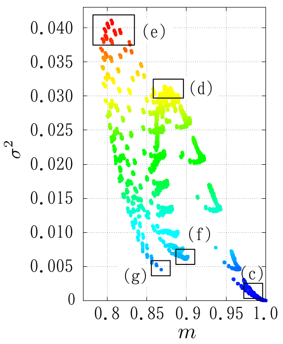
3 実験結果と考察

提案手法の評価には，解像度約 2.0mm，1 辺の長さ約 10cm である立方体のうち，3 面の点群を用いた．実験用プログラムの主要な処理は，PCL(Point Cloud Library)[2] を用いた． 本実験では，法線ベクトル及び平均内積値それぞれの算出範囲を共に 0.00〜30.00mm

3D Point Cloud Cluster Analysis Based on Spatial Distribution of Inner Products from Normal-vectors.
Tomitaka HOTTA†, Munetoshi IWAKIRI†
†Department of Computer Science, National Defense Academy of Japan
239-8686, Hashirimizu, Japan
{em52036, iwak}@nda.ac.jp

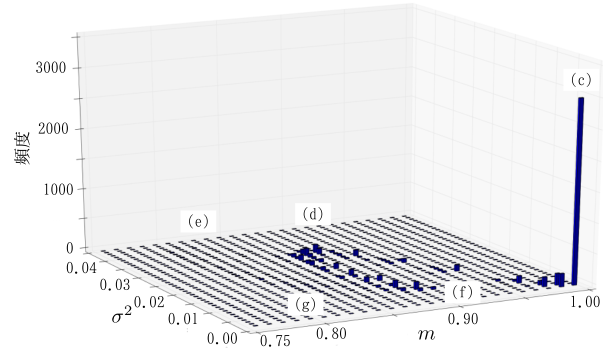


(a) σ^2 のヒートマップ

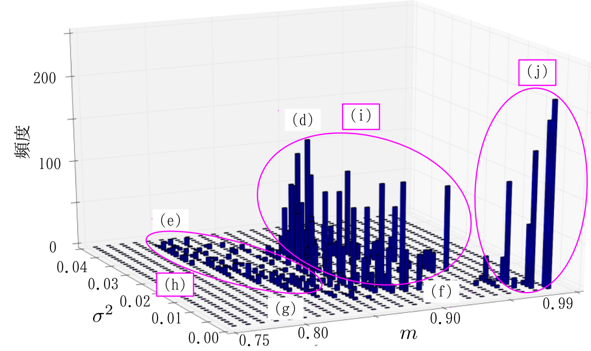


(b) m と σ^2 の関係

図 1: 提案手法による特徴抽出結果

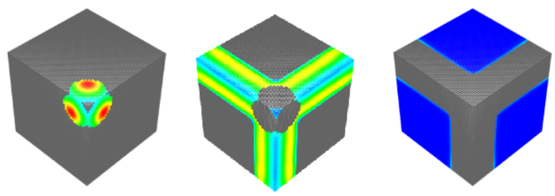


(a) 全範囲のヒストグラム



(b) $0.99 \leq m \leq 1.0$ を除くヒストグラム

図 2: m と σ^2 の 3D ヒストグラム



(a) 頂点付近　(b) 頂点及びエッジ　(c) 平面

図 3: クラスタ解析による分類

として実施した．図 1 は，本実験により得られた結果である．図 1(a) は，σ^2 を正規化し，σ^2 の最小値 Min(σ^2) を青，σ^2 の最大値 Max(σ^2) を赤としたヒートマップである．図 1(b) は，m と σ^2 の関係を示したものである．

実験結果から，エッジ付近や平面部など点の 3 次元的な表面形状に応じて，分散値が特徴的な値を持つことがわかった．分散値の最小値は，図 1(c) の領域であった．平面領域からエッジに近づくと，分散値が次第に大きくなり（図 1(d)），頂点周囲の図 1(e) で最大となった．これは，内積値の算出範囲が，他面にある点群を含むためである．特に，図 1(e) では 3 面が含まれるため，分散値が最大となった．エッジ上の図 1(f) や頂点である図 1(g) は，複数面の点群から分散値が求まるが，その値は図 1(d)(e) よりも小さい．これは，指定範囲内の点群に対称性があるため，分散が小さくなったことを示している．

図 2 は X 軸が m，Y 軸が σ^2 を表す 3D ヒストグラムである．この結果は点群が 3 つのクラスタ（図 2(h)(i)(j)）から構成されることを示している．図 2(h) の範囲は，$0.75 \leq m < 0.85$，$0.000 \leq \sigma^2 \leq 0.045$ である．図 2(i) の範囲は $0.85 \leq m < 0.95$，$0.000 \leq \sigma^2 \leq 0.033$, 図 2(j) の範囲は $0.95 \leq m \leq 1.00$，$0.000 \leq \sigma^2 \leq 0.010$ である．図 3 は，クラスタ解析によって特徴付けた結果である．この結果は，m，σ^2 によって，点群をエッジ，頂点及び平面に分類できることを示している．

4　おわりに

本研究では，注目点から指定した範囲内にある法線ベクトル間の内積値から分散値を算出し，この値を評価することで，3 次元点群を特徴付ける手法を検討した．数値シミュレーションモデルから得た法線ベクトル間の内積値及び分散値は，エッジや頂点など点の 3 次元的な表面形状に応じて，特徴のある値となった．また，内積値と分散値の 3D ヒストグラムによるクラスタ解析によって，点群をエッジ，頂点及び平面に分類できた．したがって，提案手法を用いた特徴付けにより 3 次元点群をエッジ，頂点及び平面に分類できることが明らかになった．

参考文献

[1] M. Pauly, M. Gross, L. Kobbelt: “Efficient Simplification of Point-Sampled Surfaces”,Proceedings of the conference on Visualization ’02, pp.163–170, 2002.

[2] R. B. Rusu, S. Cousins: “3D is here: Point Cloud Library(PCL)”, Robotics and Automation, pp.1–4, 2011.