2Q-6

相対勾配法による3次元点群からの特徴抽出

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．最近では，空間情報を活用した物体の識別や 3 次元形状の位置合わせ等の実現が期待されている．このような分野では，特徴点の抽出や特徴量を用いた情報処理が重要である [1, 2, 3].

本報告では，点群の法線ベクトルの勾配を定量的に評価する特徴抽出法を示す．

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．

(a) 任意の点 $\boldsymbol{p}_i$ について，その点から半径 r_q の球内にある点群 $\mathbb{P}_i^k(r_q)$ 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 $\mathbb{P}_i^k(r_q)$ 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，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，

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

より求める．

2.4 内積値の分散

点 $\boldsymbol{p}_i$ から，距離 r_s と r_l の間にある点群 $\mathbb{P}_i^k(r_s, r_l)$ の平均内積値

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

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

$$0 \leq r_s \leq r \leq r_l$$

を求める．点 $\boldsymbol{p}_i$ から，距離 r_s と r_l の間にある点群 $\mathbb{P}_i^k(r_s, r_l)$ の内積値に関する分散

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

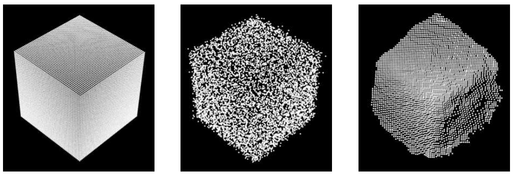
を求める．σ^2 は，注目する点周辺部の物理構造と相関があるため，平面中心部の σ^2 は 0 になるが，エッジ付近では，特徴ある値を示す．

3 実験結果と考察

提案手法の評価では，図 1 及び表 1 の点群を使用した．表 1 の解像度は，各点から最近傍の点までの距離の平均値である．実験条件を揃えるため，モデル 1 とモデル 2 の解像度をモデル 3（実測値）の 2.09mm に近くなるように調整した．モデル 2 はモデル 1 に Khoshelham らの論文 [4] を参考にして，標準偏差 2mm のノイズを与えたものである．各モデルの 1 辺の長さは約 10cm である．

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 として実施した．図 2 は，本実験により得られた結果である．この図は，分散値 σ^2 が 0 に近ければ青，分散値の最大値 Max(σ^2) が赤となるヒートマップである．

Feature Extraction method with Relative Gradient on 3D Point Cloud
Tomitaka HOTTA†, Munetoshi IWAKIRI†
†Department of Computer Science, National Defense Academy of Japan
239-8686, Hashirimizu, Japan
{em52036, iwak}@nda.ac.jp

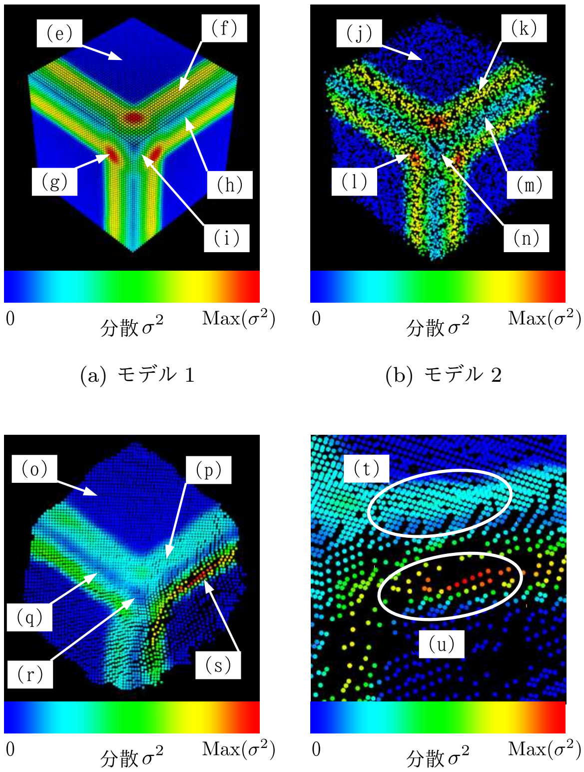


(a) モデル 1　(b) モデル 2　(c) モデル 3

図 1: 3 次元点群

表 1: 諸元

モデル名	点の総数	解像度 [mm]
(a) モデル 1	7351	2.09
(b) モデル 2	7351	1.89
(c) モデル 3	4033	2.09



(a) モデル 1　(b) モデル 2

(c) モデル 3　(d) 領域 (s) の拡大

図 2: 提案手法による特徴抽出結果

実験結果から，モデル 1 及び 2 については，エッジ付近や平面部など点の物理構造に応じて，分散値が特徴的な値を持つことがわかった．最も分散値が小さいのは，図 2(e)(j) の領域であった．これらの平面領域の点群は，分散値が 0 に近い値となった．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 2(f)(k)），頂点周囲の図 2(g)(l) 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 2(g)(l) 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 2(h)(m) や頂点である図 2(i)(n) は，複数面の点群から分散値が求まるが，その値は図 2(g)(l) 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．

モデル 3 では，モデル 1 と 2 と同様の傾向が，平面領域図 2(o)，エッジ付近の領域 (p)，エッジ上の領域 (q) 及び頂点 (r) に見られた．モデル 1 及び 2 では頂点の周辺部の図 2(g)(l) が最大となったが，モデル 3 では，(s) の領域が最大となった．図 2(s) の内積値は，注目点と同一平面上の領域 (u) が疎であるため，その近傍にある法線ベクトルとの値が少なく，他面上の密な領域 (t) の法線ベクトルとの値が多く含まれる．その結果，図 2(s) で内積値の分散が最大になったと考えられる．

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 次元点群をエッジや頂点など領域ごとに特徴抽出する手法を検討した．数値シュミレーションモデルから得た法線ベクトルの分散値は，エッジや頂点など点の物理構造に応じて，特徴のある値となった．実モデルから得た法線ベクトルの分散値は物理構造に加えて，点の解像度に影響を受けた値となった．これらの実験結果から，点の解像度の影響を受けるものの，法線ベクトルの内積値の分布から特徴抽出できることを確認できた．

参考文献

[1] M. Mohamad:“3D Object Recognition using Local Shape Descriptors”, Queen’s University Technical Report No. 2013-614(2013).

[2] L. A. Alexandre:“3D Descriptors for Object and Category Recognition: a Comparative Evaluation”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1–6(2012).

[3] S. Salti, F. Tombari, L. D. Stefano:“A Performance Evaluation of 3D Keypoint Detectors”, 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission (3DIMPVT), pp.236–243(2011).

[4] K. Khoshelham, S. O. Elberink:“Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications”, Sensors, Vol.12, pp.1437–11454(2012).