

重心移動を用いた3次元点群からの特徴抽出法

早田 赧^{1,a)} 岩切 宗利^{1,b)}

概要: 3D センシング技術の進展と普及により、取得した大規模な3次元点群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。3次元点群から注目点ごとに大小2つの局所点群の重心を求めた場合、2つの重心位置が異なる場合がある。本報告では、この2つの重心を結ぶベクトルを特徴量とする、マルチスケール特徴抽出器について検討した。実験の結果、形状変化部およびオクルージョン隣接部から特徴を抽出することに成功した。また、本提案手法は、分類器を追加することにより、平面抽出器にも応用可能であった。

3D Point Cloud Feature Extraction with the Difference of Centers of Gravity

TAKESHI HAYATA^{1,a)} MUNETOSHI IWAKIRI^{1,b)}

Abstract: When 2 centers of gravity are calculated from local point clouds with different radiiuses from the interest point, they sometimes have different positions. In this paper, we discussed the multi-scale feature extractor with the vectors connecting 2 centers of gravity. From the experimental results, we succeeded in extracting features from the parts with shape's changes and the parts adjoining to occlusion. In addition, this proposal method could be applied to the plane extractor.

1. はじめに

3次元点群は、災害救助ロボットや文化財保護、建築・土木分野など、幅広く活用されている。[1] また、その処理技術も、物体認識やセグメンテーション、レジストレーション等、用途に応じて多岐にわたっている。いずれの技術も、扱う特徴量の性質によって結果が変化するため、特徴量の抽出は3次元点群処理において非常に重要な基礎技術である。

正確な特徴量の算出法として、法線や曲率の差分を求める Difference of Normals(DoN)[2] や Difference of Curvatures(DoC)[3] 等のマルチスケールな特徴抽出器が存在する。一方、計算の容易さから、重心を特徴量とする点群処理技術も多数存在する。[4][5] しかし、法線や曲率の算出は主成分分析を用いるため計算コストがかさみ、重心はノ

イズ等の影響を受けやすい等、それぞれ課題を抱えている。そこで、本研究では、重心を用いたマルチスケールな特徴抽出法について検討した。実験結果から、提案手法は形状変化部及びオクルージョン隣接部を抽出可能であり、分類器を併用することで平面抽出に応用可能だとわかった。

2. 提案手法

局所点群の形状が平坦である場合、その重心は平面上に位置する(図1(a))。一方、局所点群の形状が平坦でない場合、重心は平面から乖離する(図1(b))。また、局所点群

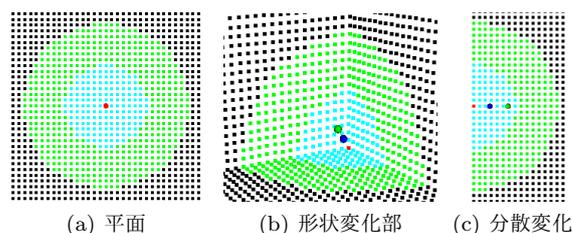


図1 重心移動 (赤:注目点, 水色:小範囲局所点群, 青:小範囲重心, 黄緑:大範囲局所点群, 緑:大範囲重心)

¹ 防衛大学校
National Defense Academy
a) em53035@nda.ac.jp
b) iwak@nda.ac.jp

が平面上にある場合でも、点の分散具合により、重心位置は平面上で変化する(図1(c)).そこで、我々は、注目点から2つのスケールで局所点群を取得し、それらの重心の距離に注目するマルチスケールな特徴抽出法 Difference of Centers of Gravity(DoCoG)を提案する。DoCoGは、次の手順により特徴を抽出する。

- (1) 大小2つのフィルタにより局所点群を取得
- (2) 両局所点群の重心を算出
- (3) 特徴量とするため、両重心を結ぶベクトル \vec{v} の長さ $|\vec{v}|$ を算出
- (4) 全ての点について、(1)~(3)を実施
- (5) 得られた特徴量により点群から特徴を抽出

なお、(2)の重心は、法線や固有値よりも高速に算出可能であるため、本提案手法はマルチスケールでありながら DoN[2],DoC[3] 等よりも高速処理が可能である。

また、平面上のオクルージョン隣接部では重心間ベクトル \vec{v} が平面上に存在する性質を利用し、以下の分類器を追加する Classified DoCoG(CDoCoG)も併せて提案する。

- (1) 注目点から \vec{v} 分移動した仮定の点 p を作成
- (2) p とその最も近い点 p' の距離 D を算出
- (3) D が閾値 Th_D 未満の点は、特徴点から除外

この分類器を用いた場合、オクルージョンに接した平面上の点は、特徴点から除外される。なぜならば、その重心間ベクトル \vec{v} は平面上に存在するため、点 p も平面上に作成され、 p' との距離 D が非常に小さくなるからである。一方、二面角や三面角等の形状変化部では、重心間ベクトル \vec{v} が平面とは異なる方向を指すため、点 p はどの平面上にも存在せず、 p' との距離 D も大きくなり、特徴点として扱われる。ただし、本分類器では、 \vec{v} の向きが逆転した場合、異なる結果が得られるため、 \vec{v} の算出時に注意が必要である。

3. 実験結果および考察

3.1 評価方法

提案手法の性能評価には、図2の点群を用いた。モデル1(図2(a))は、1辺10cmの正方形3面から成る数値シミュレーションモデルである。モデル2(図2(b))は、机上の立方体(1辺10cm)、急須、円筒を3D距離センサ(Xtion)により取得した。ここでは、3次元点群の2つの面が交差する角を二面角、3つの面が交差する角を三面角とし、これらに該当しない部分を平面と定義する。

重心の算出範囲を $(r_{ds}, r_{dl}) = (15\text{mm}, 30\text{mm})$ とし、CDoCoGの閾値を $Th_D = 1.5\text{mm}$ とした。図4は、 $|\vec{v}|$ を正規化し、 $|\vec{v}|$ の最小値 $\text{Min}(|\vec{v}|)$ を青、 $|\vec{v}|$ の最大値 $\text{Max}(|\vec{v}|)$ を赤としたヒートマップである。DoCoG, CDoCoG の他、比較のために従来手法 DoN, DoC についても同様の処理を行い、これらの条件を他のフィルタおよびオペレータにも適用し、実験を行った。

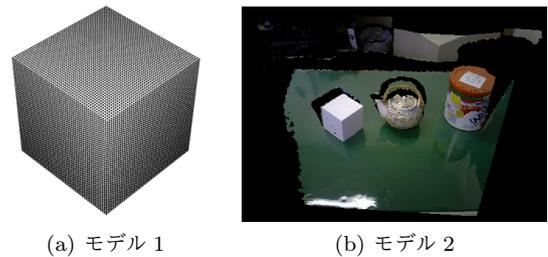


図2 実験モデル

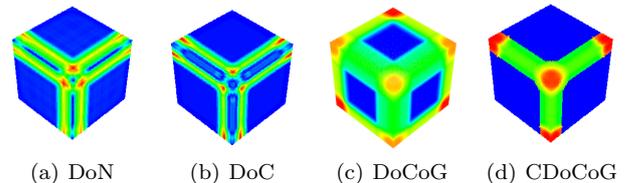


図3 基礎実験結果(モデル1)

3.2 基礎実験

提案手法および従来手法の基本性能を確認するため、2つのモデルに各手法を適用する実験を行った。

第一に、単純な構造であるモデル1に、各手法を適用した。従来手法である DoN 及び DoC の結果(図3(a),3(b))から、二面角および三面角自体には反応せず、その周辺に反応を示すことが確認できた。一方、図3(c)から、DoCoGは二面角・三面角のような形状変化部分やオクルージョン隣接部に対して、直接反応を示すことがわかった。また、図3(d)から、DoCoGの結果を分類器にかけた CDoCoGは、平面上のオクルージョン隣接部を排することで、二面角および三面角に強く反応することがわかった。

第二に、ノイズや点の疎密、曲面等による様々な影響を調べるため、モデル2に、各手法を適用した。図4(a)から、DoNはノイズの影響を強く受けることがわかった。また、図4(b)から、DoCは手前の机上では基本性能を十分に発揮できているものの、奥の壁等ではまだらに反応を示した。Xtionで取得した点群は、カメラから距離が離れるほど点密度が低下するため、DoCは点密度の影響を受けやすいことがわかった。一方、図4(c)から、DoCoGは机と壁の双方に対し、二面角や三面角だけでなく曲面に対しても反応を示しつつ、DoCよりも点密度の影響が少ないことがわかった。また、図4(d)から、CDoCoGの分類器は、オクルージョン隣接部を排除するものの、点密度の影響は受けてしまうことがわかった。

これらの結果から、本提案手法のうち、DoCoGはオブジェクトの形状変化部とオクルージョンを、CDoCoGはオブジェクトの形状変化部のみを、直接抽出可能であるとわかった。これは、従来手法が直接特徴部位を抽出できず、またノイズや点密度の影響を受けやすい点に比べ、有用である。



図 4 基礎実験結果 (モデル 2)

3.3 応用実験

基礎実験で確認できた性質から、我々は、CDoCoG を平面抽出に応用できると考えた。そこで、閾値 $Th_{|\vec{v}|}$ を設け、 $|\vec{v}| < Th_{|\vec{v}|}$ の点を除去することで形状変化部や曲面を排除し、モデル 2 から平面を抽出する実験を行った。 $Th_{|\vec{v}|} = 4mm$ として得られた結果 (図 5(a)) では、形状変化部は排除できたものの、急須および円筒表面の曲面は排除できなかった。そこで、 $Th_{|\vec{v}|} = 1mm$ としたところ、図 5(b) のとおり、曲面を排し、平面のみを抽出すること

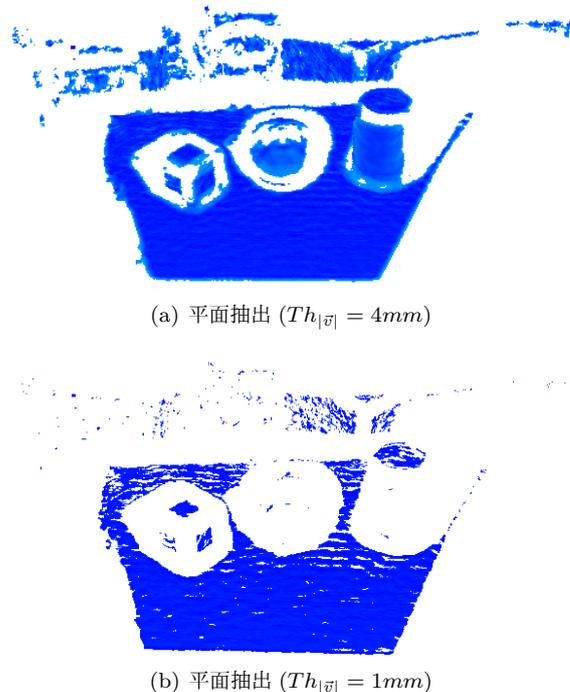


図 5 応用実験結果

に成功した。これらの結果から、閾値 $Th_{|\vec{v}|}$ を調整することにより、CDoCoG を用いて平面を抽出できることがわかった。

4. おわりに

本研究では、重心移動をベクトルとして捉えて特徴量とする特徴抽出器の基本性能と、これを応用した平面抽出器について検討した。その結果、本提案手法は形状変化部およびオクルージョン隣接部から特徴を抽出する性能を持つため、閾値を設けることで、平面抽出に応用可能であることがわかった。

参考文献

- [1] 金井 理, 増田 宏, 小野里 雅彦, 河村 幸二, 伊達 宏昭: “サイバーフィールド構築技術の現状と展望”, 精密工学会誌 Vol. 76 No. 10, pp.1121–1124 (2010).
- [2] Y. Ioannou, et al.: *Difference of Normals as a Multi-Scale Operator in Unorganized Point Cloud*, 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission(2012).
- [3] 早田 昶, 岩切宗利: 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, 第 89 回オーディオビジュアル複合情報処理研究発表会 (2015).
- [4] K. Hiekata, et al.: *Accuracy Evaluation System for Ship-building Blocks Using Design Data and Point Cloud Data*, Improving Complex Systems Today, Proceedings of the 18th ISPE International Conference on Concurrent Engineering(2011)
- [5] Weingarten J., et al: *A Fast and Robust 3D Feature Extraction Algorithm for Structured Environment Reconstruction*, View record in Web of Science(2003).