

マルチスケール演算による 3 次元点群からの特徴抽出法*

早田 越[†] 岩切 宗利[‡]
 防衛大学校 情報工学科^{†‡}

1 はじめに

3次元点群の処理技術は、物体認識やセグメンテーション、レジストレーション等、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。正確な特徴量算出のため、特徴抽出においてマルチスケールな手法が利用されることがある。各注目点の大小の半径から算出した法線の差分を扱う Difference of Normals(DoN)^[1] や、Difference of Gaussian(DoG)を用いた手法^[2]などが存在している。いずれの手法も注目点を中心とした相似形のフィルタ間の差分を評価する手法であるため、中央部には重複が生じる。重複の存在は、繰り返し処理において計算量の増大を招くほか、フィルタ間の比較をする際に鋭敏性を低減する。また、フィルタ間の評価がいずれも差分であるため、同様の特徴しか抽出できない。

本研究では、重複を排除した新たなフィルタを用い、差分以外の演算法により評価したマルチスケール特徴抽出法について検討した。数値シミュレーションによる実験結果から、提案のフィルタおよび演算法を組み合わせることで、従来とは異なる様々な用途に応用可能な特徴を抽出できることがわかった。

2 提案手法

2.1 フィルタ

図1は、2つのスケールで作成可能な基礎的なフィルタの組合せ F1~F3 を2次元的に表現したものである。赤点は注目点、緑点および青点はフィルタ1, 2の範囲、水色点は重複部、桃色点は差分部を表現している。各フィルタセットは2つのフィルタから成り、重複部は基準形状、差分部は基準形状と比較した際の外れ値の観測対象となる。DoNに代表される従来手法F1では、フィルタ間で注目点付近に重複が存在した。そこで我々は、この重複部を除去した複数のフィルタを適用したマルチスケールフィルタ F2,F3 を提案した。

F2は重複部分を排除し、形状変化に対する鋭敏性を向上させ、F3は外周部を基準とした内球部の形状変化を評価し、従来とは異なる特徴を抽出するものである。

2.2 評価値

本研究では、各フィルタから得られる評価値の性質の違いを明らかにするため、ベクトルおよびスカラーの評価値について検討を行った。

ベクトル評価には法線ベクトルを用いた。法線ベクトルは主成分分析の最小固有値を有する主成分方向とし

フィルタセット	フィルタ1	フィルタ2	重複 (基準平面)	差分 (外れ値観測対象)
F1				
F2				
F3				

図1: 2スケールでのフィルタ組合せ

た^[1]。これは、法線算出範囲内の点群が平面のみで構成される場合、法線は平面に対して垂直になり、そうでない場合、法線は垂直方向から傾斜する性質を利用するものである。

スカラー評価には、主成分分析により算出される3つの固有値の総和と最小固有値の比である曲率^[3]を用いた。これは、2つの点群の形状が相似であれば同等の値を持ち、3軸に均等に点が分布しているほど大きな値になる性質を持つ。

2.3 演算法

本研究では、前項の両評価値に対し複数の演算法を適用し、抽出可能な特徴の違いを確認した。

ベクトル評価には、和、差、外積、内積の演算法を適用した。ベクトルの和と外積は、2法線の方向が異なるほど大きなベクトルを形成し、差と内積は、2法線の方向が一致するほど大きなベクトルを形成する。外積と内積は、一方のベクトルが180°反転しても同じ大きさのベクトルを形成する。

スカラー評価には、和、差、積の演算法を適用した。スカラーの和は、2スケールの値が共に大きい場合に大きくなり、差は、2スケールの値が大きく異なる場合に大きくなる。積は、和同様2スケールの値が共に大きい場合と、小さな場合の差を強調する。

3 提案手法の評価

3.1 実験用マルチスケールオペレータ

2.1~2.3で述べたフィルタ、評価値、演算法の要素を組合せから、以下のマルチスケールオペレータを作成し、それぞれの要素が及ぼす影響について検討した。

第一に、フィルタの違いによる影響を検討するため、以下のオペレータを構成した。

- F1 ベクトル差分 DoN(文献 [1])
- F2 ベクトル差分 DDoN(Donuts DoN)
- F3 ベクトル差分 RDoN(Ring DoN)

* Feature Extraction from 3D Point Cloud with Multi-Scale Processing

[†] Takeshi Hayata · National Defense Academy Department of Computer Science

[‡] Munetoshi Iwakiri · National Defense Academy Department of Computer Science

第二に、評価値の違いによる影響を検討するため、以下のオペレータを構成した。

F1 曲率差分 DoC(Difference of Curvatures)

F2 曲率差分 DDoC(Donuts DoC)

F3 曲率差分 RDoC(Ring DoC)

第三に、演算法の違いによる影響を検討するため、以下のオペレータを構成した。

F1 ベクトル和 SoN(Sum of Normals)

F1 外積 OPoN(Outer Product of Normals)

F1 内積 IoN(Inner Product of Normals)

F1 曲率積 MoC(Multiplication of Curvatures)

F3 曲率和 RSoC(Ring Sum of Normals)

3.2 評価用データ

提案手法の性能評価には、数値シミュレーションで作成した1辺10cmの正方形3面から成る点群モデルを用いた。本モデルでは、2つの面が交差する部分を二面角、3つの面が交差する部分を三面角とし、これらに該当しない部分を平面と定義する。

法線ベクトル算出範囲は $(r_{ds}, r_{dl}) = (15\text{mm}, 30\text{mm})$ とした。図2(a)は、法線差分値 $\|\Delta\hat{n}(p)\|$ ^[1] を正規化し、その最小値 $\text{Min}(\|\Delta\hat{n}(p)\|)$ を青、最大値 $\text{Max}(\|\Delta\hat{n}(p)\|)$ を赤としたヒートマップである。曲率^[3]についても同様の処理を行い、これらの条件を全てのフィルタおよびオペレータに適用して実験を行った。

3.3 実験結果及び考察

3.3.1 フィルタ

F1を用いたDoN(図2(a))は、三面角近傍、二面角近傍、オクルージョンに接する二面角近傍からの特徴抽出が可能であるものの、三面角近傍とオクルージョンに接する二面角近傍に同程度の強度で反応を示すため、特徴量のみによる分離が困難であることがわかった。

F2を用いたDDoN(図2(b))は、オクルージョンに接する二面角近傍と三面角近傍が、特徴量のみで分離可能になった。これは、中央の重複範囲を除去したことで、形状変化への鋭敏性が増したためである。

F3を用いたRDoN(図2(c))は、DoN,DDoNと異なる

り、オクルージョンに接する2面角周辺にのみ強い反応を示すことがわかった。RDoNは、内球部の点数が外周部と比較し相対的に少なく、二面角や三面角の近傍では形状変化への反応も弱くなっていた。オクルージョンに接した二面角近傍では、点数が全体的に減少するため、形状の変化を反映しやすくなった。

3.3.2 評価値

ベクトル演算は、2ベクトルの方向の一致度が演算結果に影響した。曲率は、3軸への点の分布の均等さに影響を受ける。図2(d)と図2(e)は、フィルタ範囲は異なるが点の分布が均等なため、傾向も同じであった。図2(f)は、三面角の反応が弱まるなど、異なる傾向を示した。これは、図2(o)のとおり、三面角では2軸のみに広く分布してしまい、曲率が小さくなったためである。図2(g)は、DoCによる実験結果である。これは、図2(d)と図2(e)の差分であるため、ともに強い反応を示した三面角およびオクルージョンに接した二面角の反応が消失した。F2,F3フィルタを適用したDDoC(図2(h))およびRDoC(図2(i))は、外周フィルタが三面角およびオクルージョンに接した二面角の反応を残したまま二面角の反応を除去したため、これらの反応が強くなった。

3.3.3 演算法

ベクトル加算を用いたSoN(図2(j))は、その演算特性により、平面部分に反応することがわかった。内積演算のIoN(図2(k))および外積演算のOPoN(図2(l))も、各ベクトル演算特徴を示した。これらの結果から、SoNおよびIoNは、平面推定に有用といえる。ベクトル長が法線方向に依存しないIoNおよびOPoNは、法線方向が一定にならない場合でも安定した特徴を抽出した。

スカラー値である曲率に対する各種オペレータは曲率値同士の演算であるため、RSoC(図2(m))はフィルタ間相互の特徴量を加算すると平面以外がほぼ同値となり一様に強い反応を示した。この特性はセグメンテーションに有用である。MoC(図2(n))は、類似した特徴を持つ2つのフィルタ間に乗算を行うことで、特徴箇所がより強調された。これは、特徴点を局限することから、レジストレーション等に活用できると考える。

4 まとめ

本研究では、従来手法とは異なるマルチスケールオペレータによる特徴抽出法を提案した。各手法は、適用するフィルタ、評価値、演算法によって、それぞれ異なる性質を持つため、これらを組み合わせることで、任意の特徴を抽出できることがわかった。

参考文献

- [1] Y. Ioannou, et al.: "Difference of Normals as a Multi-Scale Operator in Unorganized Point Cloud", 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission, pp.501-508(2012).
- [2] W. Cheung, et al.: "n-SIFT: n-Dimensional Scale Invariant Feature Transform" Trans. Image Proc.,18(9), pp.2012-2021(2009).
- [3] M. Pauly, et al.: "Efficient Simplification of Point-Sampled Surfaces", Proceedings of the conference on Visualization, pp.163-170(2002).

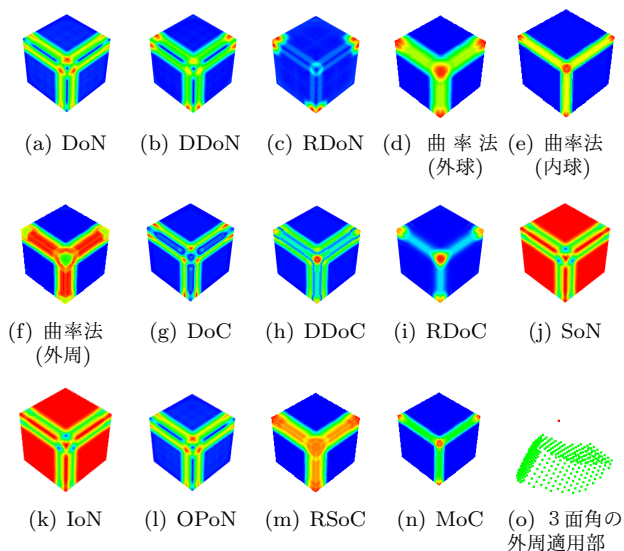


図2: 実験結果