

対象認識のための大規模レーザ計測点群の点密度一様化

北海道大学 大学院情報科学研究科 ○金田 脩佑, 伊達 宏昭, 金井 理, 小野里 雅彦

要旨

本研究は、対象の形状モデルを用いた環境レーザ計測点群からの対象認識を目的としている。本報告では、点密度の不均一さによる対象認識性能の低下を防ぐための、点群の近似曲面上でのリサンプリングによるレーザ計測点群の点密度一様化手法を提案する。

1. はじめに

中・長距離のレーザ計測技術は、大規模・複雑な実環境の形状情報の取得が容易なため、近年、プラント、土木、建築など、多くの分野において利用されるようになり、得られた計測データを有効活用する技術の開発が望まれている。本研究では、このための技術の一つとして、環境内における認識したい対象の存在有無・位置姿勢を、環境のレーザ計測データから自動で認識する対象認識手法を提案してきた^[1]。既提案法では、はじめに計測点群から三角形メッシュを生成し、生成した三角形メッシュと認識したい対象物の形状モデルが対象認識に用いられていた。しかしながら、複雑な環境の不規則計測点群やレジストレーションされた点群の三角形メッシュの生成は時間がかかり、また、不適切なメッシュが生成されることがある。さらに、大規模な三角形メッシュはデータ量が膨大となる。本研究では、三角形メッシュを用いず直接計測点群から対象認識を行えるよう、対象認識手法を拡張する。本報告では、点密度の不均一さによる認識性能の低下を防ぐための、点群に対する点密度一様化手法を提案する。

2. スピンイメージを用いた対象認識

本研究ではスピンイメージを用いて対象認識^{[1][2]}を行う。スピンイメージ^[2]とは、基準頂点 p_i の法線方向 n_i と接平面で定義される2次元座標系に、他のメッシュ頂点を射影し、射影点の密度を輝度値に持つ画像である(図1,2)。2次元座標系への3次元の点 x の射影 $S_i(x)$ は、式(1)となる。

$$S_i(x) = (\alpha, \beta) = \left(\sqrt{\|x - p_i\|^2 - (n_i \cdot (x - p_i))^2}, n_i \cdot (x - p_i) \right) \quad (1)$$

以下に、既提案の対象認識手法^[1]の概要を述べる。まず、前処理として、図3に示すように、計測ノイズの影響を緩和するための法線平均化、点密度のばらつきによる認識性能低下の抑制のための点密度一様化、ならびに、形状モデルと計測データの各点でスピンイメージ作成を行う。対象認識処理では、図4に示すように、形状モデルと計測データの類似度評価に基づき、形状モデルと計測データ内の対応(点対)を抽出する。次に、得られた対応を用いて初期位置合わせを行い、その位置合せの妥当性を2つのデータ間の近接点対数で評価する。近接点対数が一定値以上の場合、対象が存在すると判定し、ICP アルゴリズムによる最終的な位置合わせを行い、物体の位置・姿勢を求めらる。

3. 点群に対する点密度一様化

3.1 概要

既提案法^[1]では、Fast Marching 法を用いてメッシュ上での測地距離を求め、それに基づき計測データの点密度一様化を行っていた。そのため、既提案の対象認識手法を点群へ適用する際、計測点群に対し、直接点密度を一様化する手法が必要となる。

点群の点密度を変更する手法はいくつか提案されているが^[3]、それらのほとんどが元の点の間に点を発生させたり、元の点を削除したりすることで点密度の変更を行っているため、点間隔が一定となるような一様化や点間隔の柔軟な設定ができない。また、形状境界を考慮していなかった

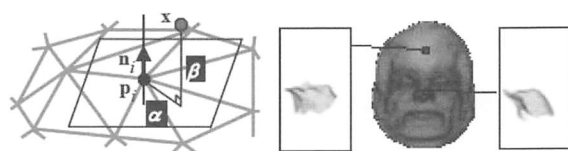


図1 点 x の射影 (α, β)

図2 スピンイメージ

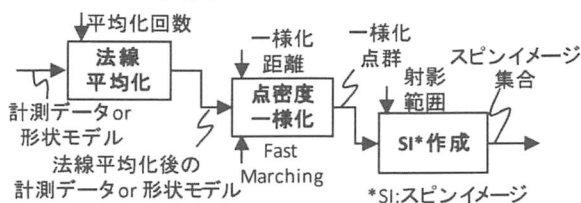


図3 スピンイメージを用いた対象認識の前処理

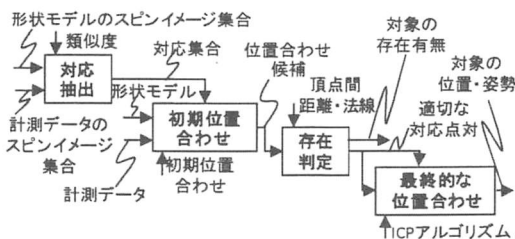


図4 対象認識処理

め、形状を外挿して不適切な点を発生させる可能性がある。本研究では形状の境界を考慮したリサンプリングによる点密度一様化手法を提案する。

3.2 リサンプリングによる点密度一様化

まず、点群を含む空間に対し一様な規則格子を定義し(図5(a)), 格子の各セルにおいて、セル内の点群 $p_i (i=1, \dots, N)$ の近似平面 H と近似曲面 S を最小自乗法を用いて求める^[3]。次に、 p_i を H に平行投影し(図5(b)), Ball Pivoting^[4]により平面上の点群の境界多角形を算出する(図5(c))。そして、ユーザが指定した点間隔 l の規則点群 $q_j (j=1, \dots, M)$ を、点群の境界多角形内で生成する(図5(c))。最後に、 q_j を近似曲面 S 上へ投影する(図5(e))。投影後の点を q'_j とする。

以上のアルゴリズムは点群の境界を考慮しているため、セル境界付近に隙間が生じる。そこで、初期の格子に双対な格子を定義し(図5(f)), 各セルで先と同様に p_i の近似曲面 S' と H' の導出、 H' への $q'_j (j=1, \dots, M')$ の投影と点群境界の算出を行う。そして、 H' 上でボロノイ図を用いたアップサンプリング手法^[3]を適用する(図5(g))。得られた点群を近似曲面へ投影する。以下では、Ball pivoting による点群の境界の算出法、規則点群の生成法、ならびにボロノイ図を用いたアップサンプリング法について説明する。

Ball Pivoting による点群の境界の算出法(図5(c))

H 上で定義した uv 座標系において u 座標が最も小さい点 $p_{u\min}$ に接するように半径 r の Ball を定義し、その点を中心として Ball を反時計まわりに回転させる。回転した Ball が一番はじめに接した点を点群の境界上の点とし、その点

を新たな中心として同様に Ball を回転させる。以上を繰り返して、 $p_{u, \min}$ が境界上の点として再度選ばれたら、Ball が接した点列からなる多角形を点群の境界として出力する。

規則点群の生成法 (図 5(d))

ユーザが指定した目標点間隔 l を辺の長さとする正三角形からなる三角形格子を H 上に作成する。点群の境界内部の格子点を規則点群として生成する。

ボロノイ図を用いたアップサンプリング法 (図 5(g))

H 上で、投影された点集合を母点とするボロノイ図を作成し、隣接するボロノイ領域の母点までの距離 d_k ($k=1, \dots, L$) が最大かつその距離が l より大きいボロノイ頂点を、新たなボロノイ母点としてボロノイ図を更新する。この処理をすべての d_k が l 以下になるまで繰り返す。最後に、ボロノイ図からドロネー三角形分割を生成し、得られた三角形メッシュに対してラプラシアンスムージングを適用することで、点間隔を更に一様にする。

一様化のための格子のセルサイズは、近似曲面のフィッティングに必要な点数を含むように決定する (本実装では、使用した計測器の角度分解能と計測可能距離からこのサイズを 1 辺 40mm と決定した)。このセルのサイズで環境計測データの点群全体を分割すると、計測点を含まない莫大な数のセルが必要となり非効率的である。この問題を解決するため計測点が存在している部分を規則空間分割処理により見つけ、その部分にのみ局所的にセルを作成して点密度一様化処理を適用する。

4. 結果

3 章で述べた点密度一様化手法を図 6(a)の大規模計測点群に適用した結果を図 6(c)~(e)に示す。図 6(c)~(e)から、提案した点密度一様化手法により、点間隔を柔軟に設定出来ることを確認した。一様化処理時間は目標点間隔が 5mm のとき約 30 分、10mm のとき約 6 分、20mm のとき約 5 分だった (CPU:Core i7, RAM:8GB)。また、2 章で述べた対象認識手法を適用した。その結果、メッシュを用いた際と同様に対象物を認識することができた。認識性能の詳細な評価は今後行っていく予定である。

5. まとめ

本報告では、これまでに提案してきたスピニイメージを用いた対象認識手法^[1]を点群へ適用するための点群データの点密度一様化手法を提案し、対象認識の実験を通してその有効性を確認した。

[参考文献]

- [1] 廿日岩他, 形状モデルを用いた 3 次元環境計測データからの対象認識に関する研究, 2009 年度精密工学会春季大会講演論文集, O20(2009).
- [2] A.E.Johnson: A representation for 3-D Surface Matching, doctoral dissertation,

- Robotics Institute, Carnegie Mellon University, August, 1997.
- [3] 例えば M. Alexa, J. Bear, D. Cohn-Ohr, S. Heiselman, D. Levin, and C.T. Silva, Computing and rendering point set surfaces, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 9:3-15, (2003).
- [4] Fausto Bernardini et. al., The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 349-359, 1999.

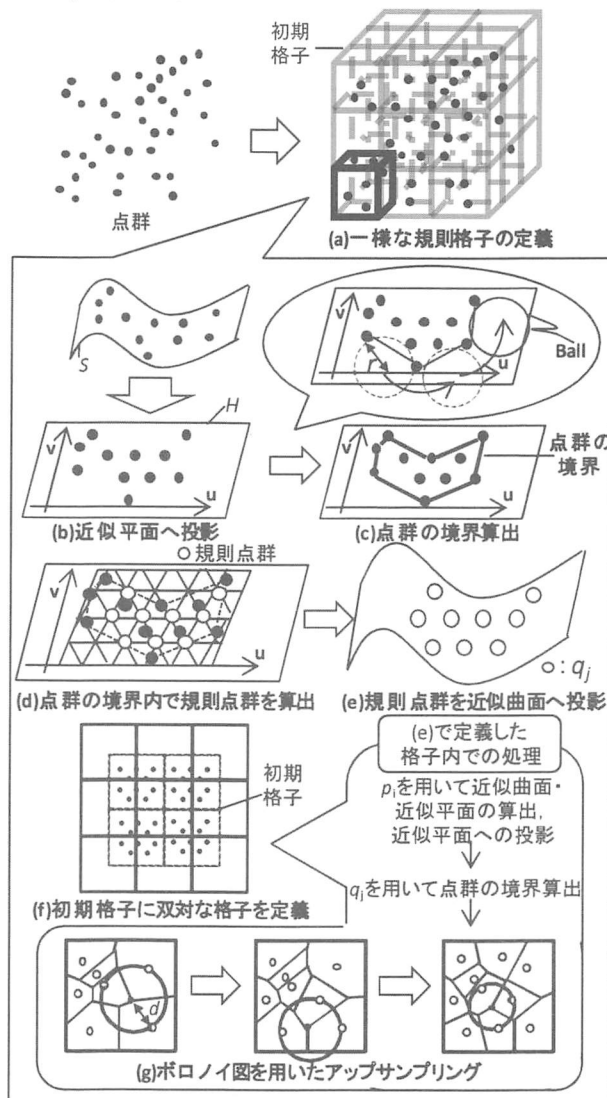


図 5 点密度一様化手法の概要

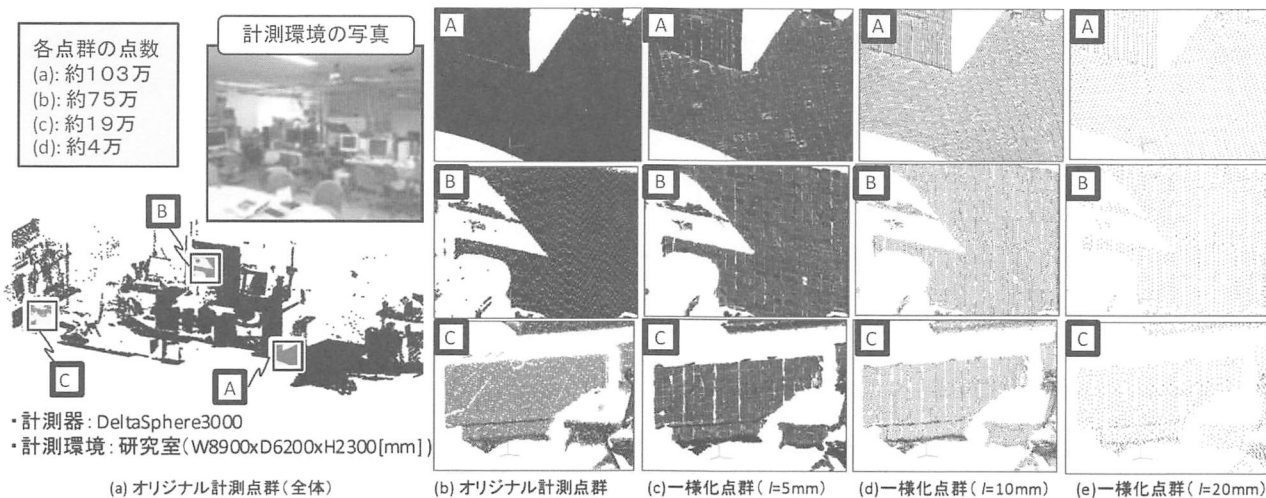


図 6 点密度一様化結果