

比較点絞り込みによる環境レーザ計測データを用いた対象認識の効率化

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

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データからの対象認識を目的としている。本報告では、点の属する領域及び近傍の幾何特徴量によって対象認識の際に比較する点を絞り込むことによる、認識処理の効率化手法を提案する。

1. はじめに

非接触3次元レーザ計測技術の進歩に伴い、複雑・大規模な形状情報を容易に計算機に取り込むことが出来るようになり、様々な場面における計測データの有効活用が期待されている。中でも、中・長距離のレーザ計測技術は、実環境の形状情報の取得が容易なため、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ってきている。

本研究では、実環境のレーザ計測データの活用技術の一つとして対象認識を行う。本研究における対象認識では、環境内における対象の存在有無・位置姿勢を、形状モデルの三角形メッシュをクエリの情報として、大規模3次元環境計測データの三角形メッシュから認識することを目的としている。本研究では、対象認識にスピニイメージを用いた手法^{[1][2]}を用いる。本報告では、比較点フィルタリングによる対象認識処理の計算効率改善手法を提案する。

2. スピニイメージを用いた対象認識

スピニイメージ^[2]とは、基準頂点 p の法線方向 n 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。

$$S_i(x) = (\alpha, \beta) = (\sqrt{\|x-p\|^2 - (n \cdot (x-p))^2}, n \cdot (x-p)) \quad (1)$$

スピニイメージを用いた対象認識では、まず、形状モデルと計測データそれぞれの各頂点でスピニイメージを作成した後、スピニイメージ間相関係数に基づいて類似度を算出する。その後、求めた類似度より、統計処理に基づいて形状モデルと計測データ内の対応点対を抽出し、対応点対数の評価により対象の存在判定を行う。対象が存在すると判定された場合には位置合わせを行い、物体の位置・姿勢を抽出する(図3)。

スピニイメージを用いた対象認識の問題点として、大規模環境計測データに対して対象認識処理に時間がかかることが挙げられる。この原因は画像同士を比較するための類似度の計算に用いられる相関係数の計算コストが高いこと、ならびに形状モデルと計測データの全てのスピニイメージを総当たりで比較するため、大規模な計測データでは比較回数が莫大となることである。この問題に対し、先行研究^[1]では、S解像度のスピニイメージを用いて段階的に対応候補を絞り込んでいるが、未だ数百万から数千万を超える計測データに対して処理時間がかかるという問題が残されている。そこで、本研究では類似度そのものの計算する回数を削減する、すなわち画像を比較する点を絞り込むことで処理の効率化を行う。

3. 比較点フィルタリング

3.1 概要

本研究では、対象認識処理の効率化のために比較点フィルタリングを行う。比較点フィルタリングとは、スピニイメージを総当たりで比較するのではなく、頂点の特徴量からスピニイメージを比較不要な点を判断し、それらの点を比較対象から除外する処理である。比較点フィルタリングは、

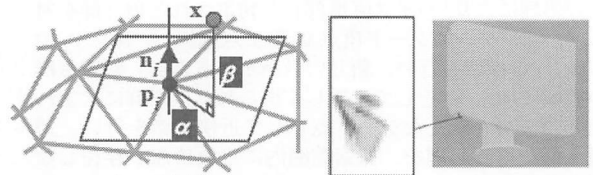
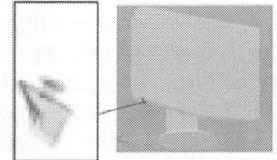
図1 点 x の射影 (α, β) 

図2 スピニイメージ

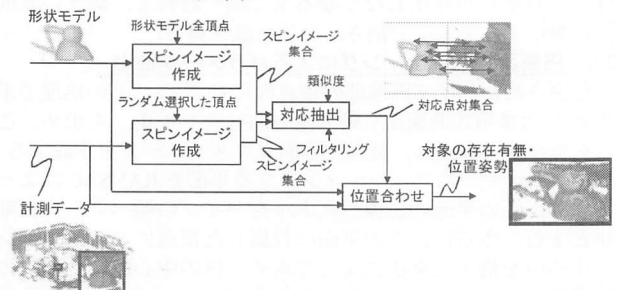


図3 スピニイメージを用いた対象認識アルゴリズム

点の属する領域の幾何特徴量と点近傍の局所形状特徴量の二つを用いて行う。

本手法では、まず点の属する領域の幾何特徴量を用いて比較点フィルタリングを行った後、点近傍の局所形状特徴量を用いて比較点フィルタリングを行う。これは、点の属する領域の幾何特徴量による比較点フィルタリングを先に行った方が比較点を大幅に減らすことが出来、効率が良いためである。

3.2 領域の幾何特徴量による比較点フィルタリング

点の属する領域の幾何特徴量を用いた比較点フィルタリングでは、物体が存在しない領域に属する計測データ内の点を見つけ、その領域の点を比較対象から除外する。本研究では平坦領域に注目した。このとき、物体が存在しない領域として、物体が持つ最大平坦領域よりも大きな面積を持つ計測データ内の平坦領域が考えられる。そこで、形状モデルの最大平坦領域の面積を S_M 、計測データの各平坦領域 i の面積を S_i として算出し、 $S_M < S_i$ となる領域 i を見つければ、この領域 i には、認識対象物が存在しないと判断出来るので、領域 i の頂点で生成されるスピニイメージを比較対象から外す。

平坦領域を抽出する手順は次の通りであり(図4)、計測データと形状モデルの両方に適用する。1)連結しているメッシュを抽出する。2)後述のK-means クラスタリングを用いた法線のグルーピングにより、頂点のラベル付けを行う。3)隣接メッシュ上で連結しているかつ同じラベルの頂点の集合を抽出し、それらの頂点から成る三角形を平坦領域として抽出する。

ステップ2のK-means クラスタリングを用いた法線のグルーピングの手順を次に示す。2-1)基準法線を設定する(本研究では80本とした)。2-2)全ての頂点の法線をその法線と成す角度が最も小さい基準法線のクラスターに追加する。2-3)生成されたクラスターが終了条件を満たしていれば処理を終了する(終了条件: 前回生成されたクラスターと変化が

ない)。2-4) クラスタ内の平均法線を新たな基準法線とする。2-5) 基準法線の角度が閾値 τ 未満ならば基準法線を統合し、2-2 に戻る (本研究では平面の法線の実験的評価に基づき $\tau=1^\circ$ とした)。

3.3 局所形状特徴量による比較点フィルタリング

点の属する領域の幾何特徴量を用いたフィルタリングを行った後、点近傍の局所形状特徴量を用いた比較点フィルタリングを行う。点近傍の局所形状特徴量を用いた比較点フィルタリングでは、形状モデルの点を持つ局所形状特徴に対し、計測データ内において、局所形状特徴が異なる点を比較対象から除外する。本研究では局所形状特徴として、法線投票に基づく surface patch saliency S_S , crease junction saliency S_C , no preferred orientation saliency S_N を用いた^[1]。 S_S が高ければその点近傍の面は平面、 S_C が高ければその点近傍の面は円筒の側面、 S_N が高ければその点近傍は球面の一部に近似することが出来る。本研究では、各点で計算された特徴量 S_S, S_C, S_N のうち、最も高い特徴量の種類を局所形状特徴とし、この種類が異なる点を比較対象から除くことにより、点の比較回数の削減を行った。

S_S, S_C, S_N の算出方法の手順は次の通りである。まず、基準点から距離 r 内にある近傍点 $i (i=1, \dots, m)$ の法線ベクトル \mathbf{N}_i を用いて式(2)の共分散行列 V_v を求める。次に、 V_v の固有値 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ を求め、 $S_S = \lambda_1 - \lambda_2$, $S_C = \lambda_2 - \lambda_3$, $S_N = \lambda_3$ として求める。

$$V_v = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} \mathbf{N}_i \mathbf{N}_i^T \quad (2)$$

4. 実行結果

図 5(a)-(d) の計測データ及び図 6 の形状モデルを用いて提案手法の有効性を確認した。図 5(e)-(h) は、それぞれ図 5(a)-(d) の計測データに対して 3.2 節で述べた領域の幾何特徴量による比較点フィルタリングを用いた結果を示している。図中の明るい点が比較対象から除外された点である。比較点数は順に、67%, 16%, 20%, 28% となった。次に、計測データ 4 に対して、3.3 節で述べた点近傍の局所形状特徴量による比較点フィルタリングを用いた。比較回数と認識処理時間の変化を表 1 に示す。表中のフィルタリング 1 は、3.2 節で述べた領域の幾何特徴量による比較点フィルタリングのみを用いた結果、フィルタリング 2 は、フィルタリング 1 を行った後に、3.3 節で述べた点近傍の局所形状特徴量による比較点フィルタリングを用いた結果を表わしている。表 1 から、比較点フィルタリングにより比較回数を削減し、処理時間が短縮できたことがわかる (CPU: Core 2Quad Q6600 2.4GHz, RAM: 16GB)。

また、3.3 節に述べた手法によって求められた特徴量 S_S, S_C, S_N に基づいて点を色分けして表示した結果を図 7 に示す。色が明るい順から S_C が最も高い頂点、 S_S が最も高い頂点、 S_N が最も高い頂点を示している。

フィルタリング 1 における領域抽出時間は形状モデルが 1[ms] 未満、計測データが 250[ms]、フィルタリング 2 における法線投票時間は形状モデルが 19[s]、計測データが 31[s] であった。本研究では計測データ一つに対して複数の形状モデルの対象認識を行うことを想定しているため、これらは前処理とし、表 1 における認識処理時間には含めていない。

5. まとめ

本報告では、環境レーザ計測データからの対象認識の処理の効率化を行うための手法を提案した。点の属する領域の幾何特徴量と点近傍の局所形状特徴量を用いることで、スピンイメージを比較する回数を減らし、対象認識の処理時間短縮を行った。

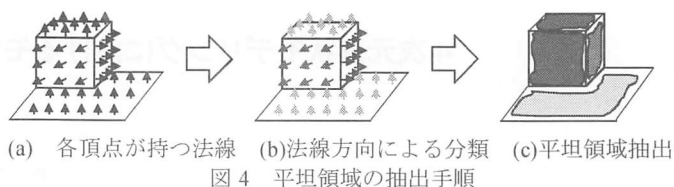


図 4 平坦領域の抽出手順

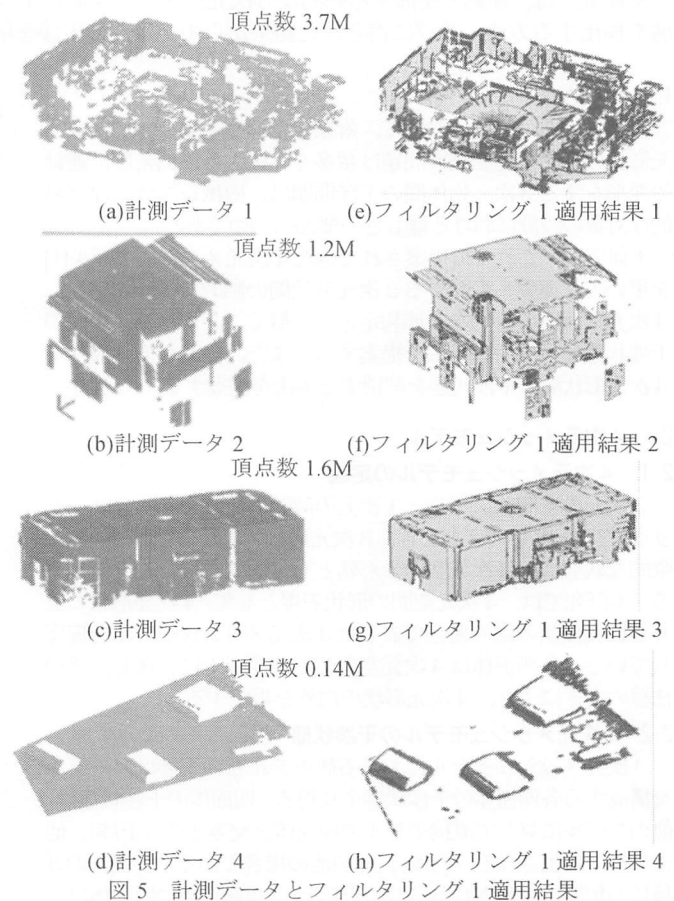


図 5 計測データとフィルタリング 1 適用結果

表 1 認識処理時間の変化

	比較回数	認識処理時間
フィルタリングなし[1]	22.4億	417秒
フィルタリング1	5.74億	187秒
フィルタリング2	3.08億	117秒

図 6 形状モデル (頂点数: 4702)

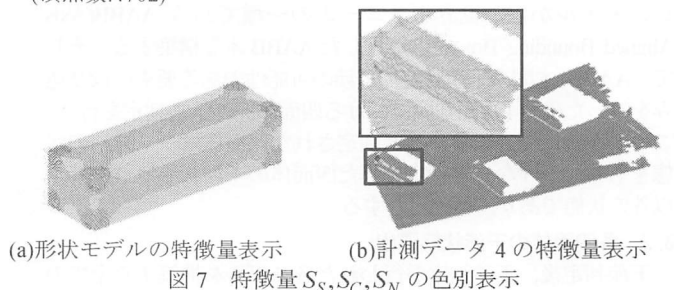


図 7 特徴量 S_S, S_C, S_N の色別表示

【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] D.L.Page, Y.Sun, A.F. Koschan, J. Paik, and M.A. Abidi: Normal Vector Voting: Crease Detection and Curvature Estimation on Large, Noisy Meshes, Graphical Models 64, 199-229(2002)