

模擬がれきを対象とした複数点群のレジストレーションとがれき抽出に関する研究

北海道大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻 ○青山弘季, 小野里雅彦, 田中文基

レスキューロボットの走破性能評価を行うため、がれきを定量的に評価するシステムが必要である。本研究では、がれきフィールドを小規模化した模擬がれきフィールドを対象とする。異なる視点から取得された点群の位置合わせや、点群からがれき要素の各平面の抽出を行った。抽出されたがれき要素の平面から平面の式を導出し、3平面の交点からがれき木材の頂点を検出する。検出された頂点からがれきの位置・姿勢の推測を目指す。

1 結論

震災が発生した際に、倒壊した家屋の下敷きになった人を発見・救助するためにレスキューロボットの利用が期待される。川尻らが行った研究[1]ではレスキューロボットの走行が、がれきに与える影響について評価が行われた。この研究では接触式三次元計測により計測されたがれきの各頂点の座標から位置・姿勢を求めた。各がれきの頂点を計測することに時間がかかり、がれき要素が増えたとき対応できないという問題が挙げられた。そこで、がれきを定量的かつ高速に観測するシステムが求められている。

本研究では、計測に時間がかからず正確に観測を行えるという点から点群を利用する。小規模な模擬がれきフィールドを対象に、異なる視点から取得した点群の位置合わせや、点群からがれきの抽出を行う。

2 模擬がれきと計測方法

レスキューロボットの走破性能試験において、家屋などが倒壊して発生した実がれきを模した模擬がれきフィールドでの評価が行われることがある。本研究では、がれきフィールドを小規模化し任意に規格化された木材を積み上げた模擬がれきフィールドを構築し対象とした。

観測の手法として、素早く正確に計測が行えるという点と、持ち運び易く多方向から点群が取得できるという点から Microsoft 社の Kinect v2[2]を用いる。

得られた点群からがれき要素を抽出し各頂点の座標を求める。全ての頂点の座標が得られなくても木材の規格がわかっているので頂点の推測を行うことができる。そして仮想がれきフィールドとして PC 内で再構築することで走行前後のがれきフィールドの構造比較を行い、走破性能評価を行うことを目指す。

3 点群のレジストレーション

本研究ではフリーの点群処理ライブラリ PointCloudLibrary[3](以降 PCL)を用いて異なる視点から取得した点群のレジストレーションを行う。レジストレーションの手順を Fig.1 に示す。

まずダウンサンプリングにより点数を減らす。これは計算時間の短縮と、後に使用する ICP での精度が下がることを防ぐために行う。次に点群から法線ベクトルを求め、その特徴量をヒストグラムに記述を行う。そして RANSAC により 2つの点群から同じ特徴量をもつヒストグラムの対応付けを行い大まかな位置合わせを行う。最後に ICP[4]で細かい位置合わせを行う。

今回のがれき抽出に使用したレジストレーション後の点群を Fig.2 に示す。このとき 2つの点群の対応点の距離の最大値は 0.002[m]であった。

4 Region growing 領域形成

次に Fig.2 の点群による PCLでの Region growing を行う。同じ平面上にある点で領域(クラスター)を形成することで、がれき要素の各平面を抽出する。手順を Fig.3 に示す。

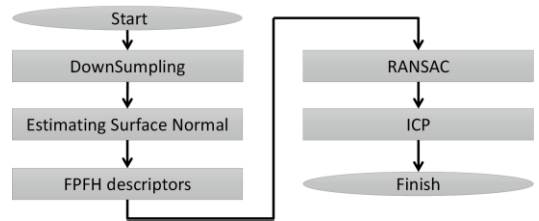
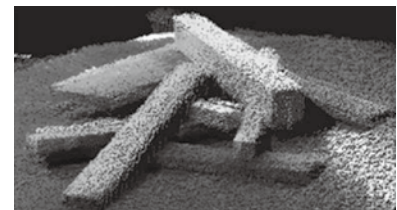


Fig.1 レジストレーションの手順



(a)ある視点から見た点群



(b)反対側の視点から見た点群

Fig.2 レジストレーション後の点群

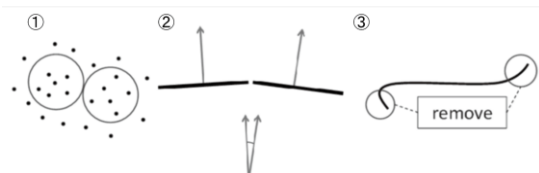


Fig.3 Region growing の手順

- ① 近傍点 K 個を選び1つの領域とし法線ベクトルを求め
- ② 隣の領域の法線ベクトルとの角度 θ を比較し閾値以下の場合同じ領域とみなす
- ③ 領域を形成し終わったら曲率を求め、曲率 κ の閾値を超えていた場合その領域を取り除く

これらの手順を行い領域の点数が領域最小点数 m 点以下だった場合その領域は除外される。

今回の Region growing によって検出されたがれき平面のうち、Fig.2 の一番上にあるがれきの平面を表示した結果と各クラスタの位置を Fig.4 に示す。クラスタ(1)(2)(4)の3平面の交点を A、クラスタ(2)(3)(4)の3平面の交点を B とする。以降ではこの A と B の座標の導出を行う。

5 各領域の平面の式の導出

Region growing によって抽出されたがれきの各平面のクラスタごとに平面の式を導出する。導出に際しては PCL による Plane model segmentation を行う。RANSAC を用いた平面推定の方法であり、手順を Fig.5 に示す。

- ① 3点をランダムに選択する
- ② 選択された3点によって平面が一意に決まる
- ③ 決定された平面上にある点と、その平面から距離 t 以内にある点数をカウントする
- ④ ①～③を繰り返し行い、繰り返し回数 n を終えたときに最も多くの点を含んだ時の平面の式を解とする

このときに得られる平面の式 $ax + by + cz = d$ から、その平面の法線ベクトル $\vec{n} = (a, b, c)$ がわかる。 $t = 0.005[m]$ のとき Fig.4 で抽出された4平面のデータを Table1 に示す。

6 平面の直交判定と3平面の交点の導出

6.1 平面の直交判定

平面の式から、2つの平面の法線ベクトルはそれぞれ $\vec{n}_1 = (a_1, b_1, c_1)$, $\vec{n}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ となる。ここではベクトルの内積を利用して、2平面の角度の導出を行う。

$$\frac{|\vec{n}_1| |\vec{n}_2| \cos \theta = \vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2}{\cos \theta = \frac{\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2}{|\vec{n}_1| |\vec{n}_2|}}$$

この式から $\cos \theta$ の値を求めることで2平面が直交しているかを判定する。計測誤差も含め、

$$\cos(90 - 4)^\circ < \cos \theta < \cos(90 + 4)^\circ$$

の値を満たす θ をもつ平面の組み合わせを直交していると判断する。 $\cos \theta$ の逆関数の値から各クラスタの角度を求めたものを Table2 に示す。

6.2 3平面の交点の導出

2平面の直交判定により、隣り合う3つの平面が直交しているときの3平面の交点を導出する。これによりがれきの頂点の座標が求められる。

交点は3平面の式の連立方程式を解くことで求めることができる。クラスタ(1)(2)(4)と(2)(3)(4)の連立方程式を解くことで得られた A と B の座標は $A(-0.085, 0.090, 0.885)$ $B(0.097, -0.055, 0.678)$ となり AB 間の距離は $0.311[m]$ 、実測値との誤差は $0.011[m]$ であった。

7 結論

本研究では異なる視点から取得した点群の位置合わせを行った。また、その点群から領域形成を行いがれき平面の

抽出を行い3平面の交点の座標からがれきの頂点の座標を導出することができた。

今後の課題は隣り合うクラスタを自動的に選択するアルゴリズムの構築と、3平面の交点ではない、残りのがれき頂点の座標の導出方法の検討などが挙げられる。がれきの各頂点の座標が導出できれば、一部分が隠れているがれきなどの位置・姿勢の推測に応用できることが考えられる。

参考

- [1] 川尻将大, 小野里雅彦, 田中文基: がれき特徴に対するレスキューロボットの踏破性能評価に関する研究, (社)計測自動制御学会, 論文集 p16~23, 2015
- [2] Microsoft Kinect for Windows
<https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [3] PointCloudLibrary <http://pointclouds.org/>
- [4] Runskiewicz, S., Levoy, M.: Efficient variants of the ICP algorithm, Proc. of IEEE 3DIM 2001

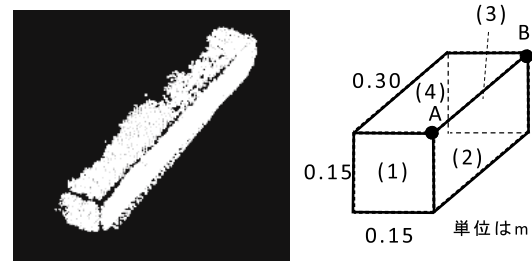


Fig.4 抽出されたがれき平面とクラスタ



Fig.5 平面推定の手順

Table1 各クラスタのデータ

No.	点数	a	b	c
(1)	309	-0.614	0.474	0.631
(2)	2058	0.814	0.305	0.494
(3)	193	-0.576	0.467	0.671
(4)	3320	-0.003	-0.821	0.571

Table2 クラスタの角度

クラスタ	組み合わせ	角度[°]
(1)	(2)	92.5
(1)	(3)	3.23
(1)	(4)	91.5
(2)	(3)	89.7
(2)	(4)	88.4
(3)	(4)	89.9