

1.はじめに

自己位置推定は、ロボットの自律移動や自動運転を行う際に重要なタスクである。3次元点群の位置合わせの手法として、セマンティックセグメンテーションを用いた手法 [1] と、3D エッジを用いた手法 [2] がある。しかし、位置合わせに有効な対応点が得られず、位置合わせが失敗する場合がある。本研究では、セマンティックエッジを導入し、位置合わせの高精度化を目指す。

2.Iterative closest point (ICP)

Iterative closest point (ICP) とは、ある2つの点群集合が整合するように、位置合わせを行う方法である。ICP には、大別して Point-to-Plane 法、及び Point-to-Point 法の2種類が存在する。

Point-to-Point 法：ある点群集合 $P = \{p_1, \dots, p_i\}$ を $Q = \{q_1, \dots, q_i\}$ へ近づける場合、以下の式 (1) のように、最小二乗法を用いて最適化を行う。

$$q = \arg \min_{q \in Q} \sum_i \|(q_i - p_i)\|^2 \quad (1)$$

Point-to-Plane 法：Point-to-Point 法の式 (1) に法線ベクトル n_{q_i} を追加して式 (2) のように最小化を行う。Point-to-Plane 法では、法線を用いることで局所的な表面の向きを考慮した位置合わせが可能となる。

$$q = \arg \min_{q \in Q} \sum_i \|(q_i - p_i) \cdot n_{q_i}\|^2 \quad (2)$$

3.提案手法

セマンティックセグメンテーションを用いた手法はデータ点数全てを用いるため、計算コストが増大しやすい。3D エッジを用いた手法は対応づけの精度が低いため、位置合わせが失敗する場合がある。本研究では、図 1(a) に示すセマンティックラベルから抽出したセマンティックエッジを用いて、対応づけの高精度化と計算コストの低減を実現する。

3.1.セマンティックエッジ

セマンティックエッジは、セマンティックラベルの境界に着目し、境界部分の点群をエッジとして抽出する。セマンティックエッジは式 (3) のように、各点のセマンティックラベルとは違うラベルが周辺の点に存在する場合に抽出する。

$$P_{se} = \{p \in P | \exists l \in L_{N_p}, l \neq l_p\} \quad (3)$$

ここで、 P_{se} はセマンティックエッジ集合、 P は点群集合、 N_p は p の近傍点、 L_{N_p} は N_p のセマンティックラベルである。図 1(c) にセマンティックエッジの例を示す。

3.2.3D エッジ

ICP の計算に用いる点群をエッジ部分に限定することで、計算量の減少と計測時の外乱に対するロバスト性を向上させた手法 [2] がある。3D エッジ検出は式 (4) のように点群表面の曲率を使用する。

$$P_e = \{p \in P | \sigma(p) > \text{threshold}\} \quad (4)$$

ここで、 P_e は3D エッジ集合、 P は点群集合、 σ は曲率を表す。曲率をしきい値とすることで、物体の凹凸が大きい3D エッジを検出する。図 1(b) に3D エッジの例を示す。

3.3.セマンティック3D エッジ

本研究では、セマンティックエッジと3D エッジの組み合わせをセマンティック3D エッジと呼ぶ。2つのエッジ集合の共通集合 $P_e \cap P_{se}$ を求め、これをセマンティック3D エッジ集合とする。図 1(d) にセマンティック3D エッジの例を示す。

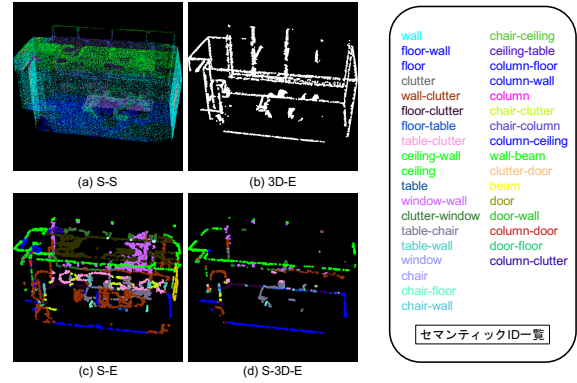


図 1: 評価に用いる各エッジ

4.評価実験

提案手法の有効性を検証するため、各手法における ICP の更新回数を比較する。評価指標には、Root-Mean-Squared Error (RMSE) を用いて、点群間の誤差を算出する。データセットには S3DIS データセットの Area 5 内の4部屋を用いる。また、セマンティックラベルには、屋内のラベル35種類を用いる。

4.1.実験条件

初期姿勢として z 軸に90度回転を与える。終了判定は更新毎の RMSE が一定値以下で収束したと判定する。更新回数が50回を超えた場合は位置合わせ失敗とする。

4.2.実験結果

部屋毎の ICP 更新回数の比較を表 1 に示す。ここで、S-S はセマンティックセグメンテーション、3D-E は3D エッジ、S-E はセマンティックエッジ、S-3D-E はセマンティック3D エッジの各手法を示す。また、Co は Conference room, Ha は Hallway, Lo は Lobby room と各部屋を表している。表 1 より、提案手法の2種類のエッジは、共に従来手法と比較して位置合わせを少ない回数で成功していることが分かる。また、全部屋の平均の結果から、Point-to-Point 法ではセマンティック3D エッジ、Point-to-Plane 法ではセマンティックエッジが早く収束することが分かった。

表 1: 各手法の更新回数の比較

| 手法 | Point-to-Point | | | | Point-to-Plane | | | |
|----|----------------|-------|-------|--------|----------------|-------|-------|--------|
| | S-S | 3D-E | S-E | S-3D-E | S-S | 3D-E | S-E | S-3D-E |
| Co | 16 | 17 | 14 | 13 | 10 | 9 | 7 | 7 |
| Ha | 50 | 17 | 50 | 13 | 50 | 12 | 8 | 25 |
| Lo | 50 | 50 | 22 | 50 | 50 | 50 | 12 | 13 |
| 平均 | 41.50 | 33.50 | 34.00 | 31.50 | 40.00 | 30.00 | 19.25 | 23.75 |

5.おわりに

本研究では、セマンティックエッジを導入した位置合わせ手法を提案した。従来手法と比較して更新回数が減少し、位置合わせの高精度化を実現できた。

参考文献

- 山田卓平, “セマンティックセグメンテーションを用いた三次元点群の位置合わせ”, ビジョン技術の実用ワークショップ (ViEW), 2018.
- 友納正裕, “エッジ点追跡に基づくステレオカメラを用いた3次元 SLAM”, 日本ロボット学会誌, vol.27 no.7, pp.759-767, 2009.