

论文: Velas M, Spanel M, Herout A. **Collar Line Segments for fast odometry estimation from Velodyne point clouds**[C]//Robotics and Automation (ICRA), 2016 IEEE International Conference on. IEEE, 2016: 4486-4495.

相关代码: https://github.com/robofit/but_velodyne_lib

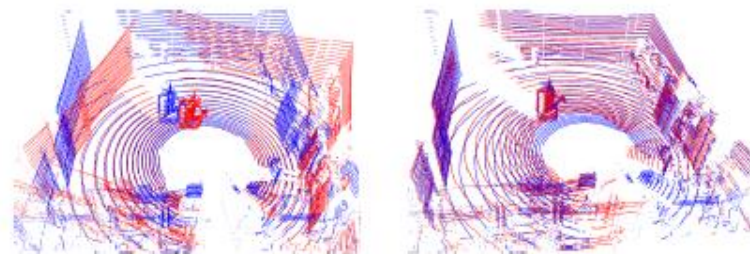
一. 概述

这周在 github 上寻找相关 kitti 激光点云数据处理的代码时候,发现了这篇论文和实现代码。这篇 ICRA 论文原理比较简单,针对 Velodyne 采集的激光点云,屏弃了点对点的配准,而是采用线对线的配准,并以此累计来估计里程,最后与 Generalized-ICP 在 kitti_odometry_benchmark 上进行了对比。

二. 算法步骤

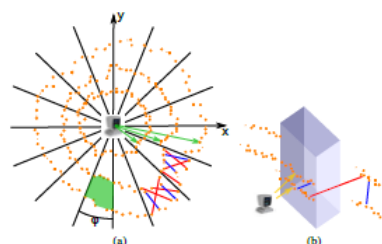
1. Sampling by Line Segments

Velodyne 激光传感器从 2007 年 DARPA 挑战赛起被广泛用于移动机器人、无人驾驶等领域。Velodyne 这类多线激光传感器的最大特点是激光点云被分割成一圈一圈的线 (ring), 线与线之间存在空白的 gap, 如果用传统的点对点 ICP 配准方法有可能陷入局部极值, 无法完全配准。如下图所示:



首先, 将三维点云坐标 $[x, y, z]$ 转换成线坐标 $P_{r,\alpha} = [r, \alpha]$, 有 $\alpha = \arctan(\frac{y}{x})$, $r \in \{1, \dots, N\}$ 。其中 r 其实相当于融合了 z 轴的信息。

然后, 定义了两个函数 G 与 H 来提取线段, 其实用文中的插图可以理解提起方法, 如下图所示:



G 函数实现了(a)的效果，将 360 度的角度均匀地分割成若干个区域（可以 10 度或 20 度分割），然后在各个 ring 之间随机连线，生成线段。一般选择两个 α 角度接近的两个点作为端点。

F 函数起到了滤波的作用，比如(b)中红色线段连接了两个平面，而蓝色线段则被保留。

2. Registration of line clouds

该论文线段的配准引到了点对点的配准，通过传统的 ICP 方法解决此类问题。在每次迭代之之前，计算两个线段的中心，依次来实现迭代最近点算法。

3. Prediction of Transformations from Previous Frames

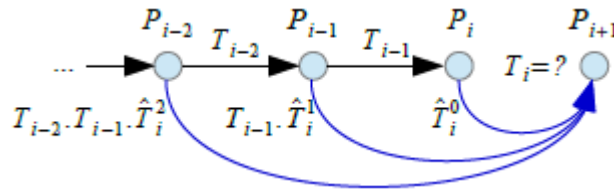
为了方便此时刻的位姿估计，可以根据移动机器人前几次的位姿变换来预测当前的变换。一种通用的方法是根据 EKF 来估计，但是考虑到运算速度的限制，文中采用了线性变化的预测方法。

两帧点云 P_i 和 P_{i+1} 之间的位姿变换记为 T_i ，则对该变换的预测值记为 T_{init} ，则有：

$$T_{init} = \frac{2}{N(N+2)} \sum_{j=1}^N (N-j+1)T_{i-j}$$

4. Processing of Multiple Scans

如果单纯地累积帧与帧之间的计算结果，会产生一定的误差。论文作者尝试了一种视觉里程计消除误差的方法，但效果不理想。于是提出了一种更鲁棒的方法，如下图所示：



Algorithm 1 Registration against H previous scans for noise reduction

```

1:  $\hat{T}_i^0 = \text{REGISTER}(P_i, P_{i+1}, T_{init})$ 
2:  $T_{inv} = \text{Identity}$ 
3: for  $j = 1$  to  $H$  do
4:    $T_{inv} = T_{inv} * \text{INVERT}(T_{i-j})$ 
5:    $S = \{T_{inv} * p \mid p \in P_{i-j}\}$ 
6:    $\hat{T}_i^j = \text{REGISTER}(S, P_{i+1}, \hat{T}_i^{j-1})$ 
7: end for
8:  $T_i = \frac{1}{H} \sum_{j=0}^H \hat{T}_i^j$ 

```

该方法相当于传递了一定时刻之前的点云与当前的点云配准并计算，再取平均值作为最后结果。

三. 算法评价

该算法在 kitti_odometry_benchmark 上进行了测试，并和 G-ICP 方法进行了对比。某些场合下要优于 GICP 方法，运算速度会更快。而且当车辆速度越快，误差相对 G-ICP 越小。

目前，Velodyne 多线激光越来越多地应用在无人驾驶和移动机器人上。为了提高点云的配准精确性，ethz_asl 将点云进行降采样，尽量减小多线对配准的影响，而此文的方法则是巧妙地利用多线激光的特点，将点云的配准问题变成线段配准的问题。最终的解决方案还是没有脱离 ICP 体系，只是在线段特征提取和多帧融合上进行了改进。但是能在 kitti 数据集上超越 G-ICP 也体现出该算法的实用性。