PclCSharp

1 简介

该文档主要介绍PointCloudSharp命名空间和PclCSharp命名空间中的各个函数。

2 PointCloudSharp命名空间

PointCloudSharp中封装了pcl中存储点云的基本数据结构，包括`pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>`、`vector<pcl::PointIndices>`和`pcl::PointCloud<pcl::Normal>`等。目前封装好的只有`pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>`、`vector<pcl::PointIndices>`**这两类，其他的数据结构后续逐步封装。**

2.1 PointCloudXYZ

该类是对`pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>`的封装。

2.1.1 属性介绍

1.Width: 表示点云宽度（如果点云是有序的，类似图像结构,则代表点云的列数）,即一行点云的数量。

2.Height:表示点云高度（如果点云是有序的，类似图像结构,则代表点云的行数），即一列点云的数量。

若为有序点云，height可以大于 1，即多行点云；若为无序点云，height需要等于1，即一行点云，此时 width 的数量即为点云的数量。

大部分传感器的数据源都是无序点云，但也有某些传感器，如TOF相机采集的数据源是有序点云。有序点云的优势在于，通过知道两个相邻点的关系，最近邻点操作会变得更加有效，因此可以加速计算。而对于无序点云来说，需要使用Kdtree或者Octree算法来给点云有序化，以此加快运行速度，这也是为什么大部分点云处理算法需要设置近邻数的原因（设置近邻数实际上是设置Kdtree或者Octree的参数）。

3.Size:整个点云的数量。

4.PointCloudXYZPointer:最重要的属性！**该属性实际是PCL中**`pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ> *`。为了提高运行效率，使用数组不是合适的选择。所以必须要把C++中的`pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ> *`封装给C#使用。该属性在C#中是一个**IntPtr类型**，里面包含了所有的点云信息。

2.1.2方法介绍

```
///@brief 无参构造函数
///@details 初始化一个空的点云对象
public PointCloudXYZ()

///@brief 有参构造函数
///@details 传入点云文件地址，加载对应的点云对象到_PointCloudPointer中
///@param path 点云文件路径
public PointCloudXYZ(string path)

///@brief 析构函数
///@details 内存管理。当对象的生存期结束时，释放掉点云对象内存。这里容易出现野指针，万分注意！
~PointCloudXYZ()

///@brief 获得某点的X值
///@param index 点的索引号
public double GetX(int index)

///@brief 获得某点的Y值
///@param index 点的索引号
public double GetY(int index)

///@brief 获得某点的Z值
///@param index 点的索引号
public double GetZ(int index)

///@brief 重置点云大小
///@param size 点云的大小
public void ReSize(int size)

///@brief 压入一个点，压入的位置在元素最后面
///@param x 压入点的x值
///@param y 压入点的y值
```

```
///@param z 压入点的z值
public void Push(double x, double y, double z)

///@brief 获得点云中的极值
///@param out_res 极值结果
///@details 使用一个double数组保存结果，大小为6.其中，
///第一第二个元素依次是x的最小值、最大值，第三第四个元素是y的最小最大值，后面依次类推
public void GetMinMaxXYZ(double[] out_res)
{
    getMinMaxXYZ(_PointCloudPointer, out_res);
}

///@brief 弹出一个点，类似于出栈，弹出的是元素中最后一个点
public void Pop()

///@brief 清空点云对象中所有点，对象的size属性变为0
public void Clear()
```

2.2 PointIndices

该类是对`vector<pcl::PointIndices>`的封装，**主要是为了解决存储分割结果的问题。**点云经过分割之后，会被分为n个点簇，每个点簇用点的索引表示，也就是pcl中的`pcl::PointIndices`。整个结果用一个vector存储，也就是`vector<pcl::PointIndices>`。C#中没有类似的结构，所以将其封装为PointIndices类供C#使用。

2.2.1 属性介绍

1.Size:分割出来的点簇数量

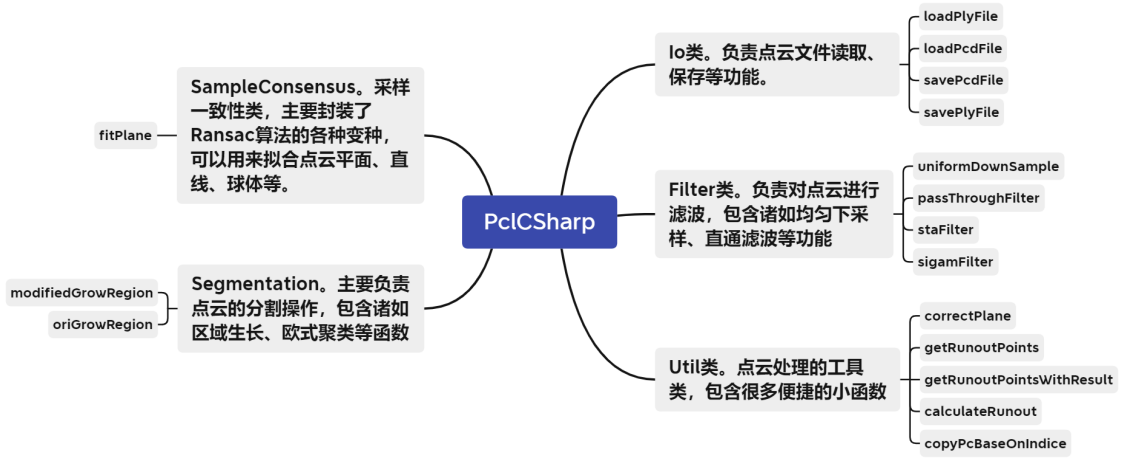
2.PointIndicesPointer:**该属性实际是PCL中**`vector<pcl::PointIndices> *`，在C#中是一个IntPtr类型，里面包含了所有的点簇信息。

2.2.2 方法介绍

```
///@brief 无参构造函数
///@details 初始化一个空的点云索引对象
public PointIndices()

///@brief 析构函数
///@details 内存管理。当对象的生存期结束时，释放掉点云对象内存。这里容易出现野指针，万分注意！
~PointIndices()

///@brief 根据索引获得对应的点簇指针，也就是pcl::PointIndices，一个点簇对应着一个分割结果
///@param index 索引号
public IntPtr GetPointIndice(int index)

///@brief 根据索引获得对应点簇索引的点数大小
///@param index 索引号
///@details 这个函数一般用于筛选点簇中。比如分割的结果中包含很多点簇，但我只想要点数最多或者最少的点簇，那就可以使用这个函数
///做一个判断，选出点数最多或最少的点簇
public int GetSizeOfIndice(int index)
```

3 PclCSharp命名空间

该命名空间中包含了pcl中点云处理的算法，暂时封装了**Io、Filter、Segmentation、SampleConsensus和Util**五个静态类，每个类大体对应着pcl的一个模块，后续有空会慢慢增加其他模块。各个类之间的依赖关系见下图



3.1 Io

Io模块中主要包含点云文件的**读取保存功能**，目前可加载pcd、ply、obj和stl格式的文件，**并可将这四种格式文件转成pcd或者ply格式文件。**

3.1.1 loadPlyFile

```
/// @brief 加载ply文件
/// @param path 文件路径
/// @param pc 点云对象指针，此处使用PointCloudSharp类的PointCloudPointer属性
public static extern int loadPlyFile([MarshalAs(UnmanagedType.LPStr)] string
path, IntPtr pc);
```

3.1.2 loadPcdFile

```
/// @brief 加载pcd文件
 /// @param path 文件路径
 /// @param pc 点云对象指针，此处使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
 public static extern int loadPcdFile([MarshalAs(UnmanagedType.LPStr)] string
path, IntPtr pc);
```

3.1.3 loadObjFile

```
/// @brief 加载obj文件
/// @param path 文件路径
/// @param pc 点云对象指针，此处使用PointCloudSharp类的PointCloudPointer属性
public static extern int loadObjFile([MarshalAs(UnmanagedType.LPStr)] string
path, IntPtr pc);
```

3.1.4 stl2PointCloud

```
/// @brief stl文件转为点云对象
/// @param path 文件路径
/// @param pc 点云对象指针，此处使用PointCloudSharp类的PointCloudPointer属性
public static extern void stl2PointCloud([MarshalAs(UnmanagedType.LPStr)] string
path, IntPtr pc);
```

3.1.5 loadTxtFile

```
/// @brief 加载txt文件
/// @param path 文件路径
/// @param pc 点云对象指针，此处使用PointCloudSharp类的PointCloudPointer属性
/// @attention txt文件内容格式：每个点的坐标数值为一行，xyz三轴坐标间用空格分割，整个文件中除
了数字和空格不能有其他东西
public static extern int loadTxtFile([MarshalAs(UnmanagedType.LPStr)] string
path, IntPtr pc);
```

3.1.6 savePcdFile

```
/// @brief 保存pcd文件
/// @param path 保存的路径
/// @param pc 点云对象指针，此处使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param binaryMode 是否保存为二进制文件，若参数大于0，则将点云文件保存为二进制文件，反之
亦然
/// @note 如果需要查看保存的点云文件数据，则binaryMode参数应该小于或等于0；如果需要提高文件读
取速度，binaryMode应大于0
public static extern void savePcdFile([MarshalAs(UnmanagedType.LPStr)] string
path, IntPtr pc,int binaryMode);
```

3.1.7 savePlyFile

```
/// @brief 保存ply文件
/// @param path 保存的路径
/// @param pc 点云对象指针，此处使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param binaryMode 是否保存为二进制文件，若参数大于0，则将点云文件保存为二进制文件，反之
亦然
/// @note 如果需要查看保存的点云文件数据，则binaryMode参数应该小于或等于0；如果需要提高文件读
取速度，binaryMode应大于0
public static extern void savePlyFile([MarshalAs(UnmanagedType.LPStr)] string
path, IntPtr pc, int binaryMode);
```

3.2 Filter

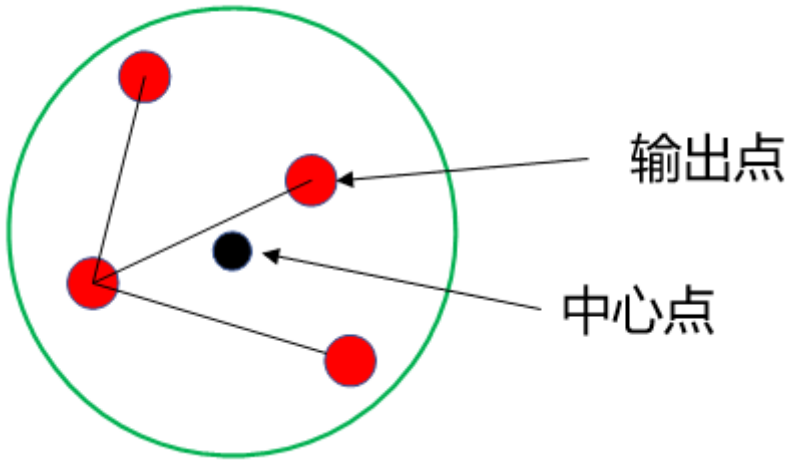
Filter模块主要实现点云的滤波功能，目前封装了均匀下采样、统计滤波、直通滤波、半径滤波等功能

3.2.1 uniformDownSample

```
/// @brief 对点云进行均匀下采样，可有效减少点云数量
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param radius 下采样半径，该值越大，采样后点云越稀疏
/// @param out_pc 采样后的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @note 在DD马达端面跳动测量中，radius建议取100
public static extern void uniformDownSample(IntPtr in_pc,double radius,IntPtr
out_pc);
```

算法原理：

通过构建指定半径的球体对点云进行下采样滤波，将每一个球内距离球体中心最近的点作为下采样之后的点输出。



3.2.2 voxelDownSample

```
/// @brief 对点云进行体素下采样，可有效减少点云数量
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudSharp类的PointCloudPointer属性
/// @param leaf_size 下采样叶子尺寸，该值越大，采样后点云越稀疏
/// @param out_pc 采样后的点云对象指针，使用PointCloudSharp类的PointCloudPointer属性
/// @note 采用体素中心点替代体素内的所有点云，这种方法比直接使用中心点要慢，
/// 但是更加精确。该采样同时保存点云的形状特征，在提高配准，曲面重建，形状识别等算法速度中非常实
用。
/// @attention 体素下采样的点并不是点云中的原始点，而是通过计算的中心点，这和均匀下采样不一样
/// 均匀下采样的点是点云原始点，所以在高精度测量领域，不应该用体素下采样！！！
public static extern void voxelDownSample(IntPtr in_pc, double leaf_size, IntPtr
out_pc);
```

算法原理：它的原理是根据输入的点云，首先计算一个能够刚好包裹住该点云的立方体，然后根据设定的分辨率，将该大立方体分割成不同的小立方体。对于每一个小立方体内的点，计算他们的质心，并用该质心的坐标来近似该立方体内的若干点。

3.2.3 approximateVoxelDownSample

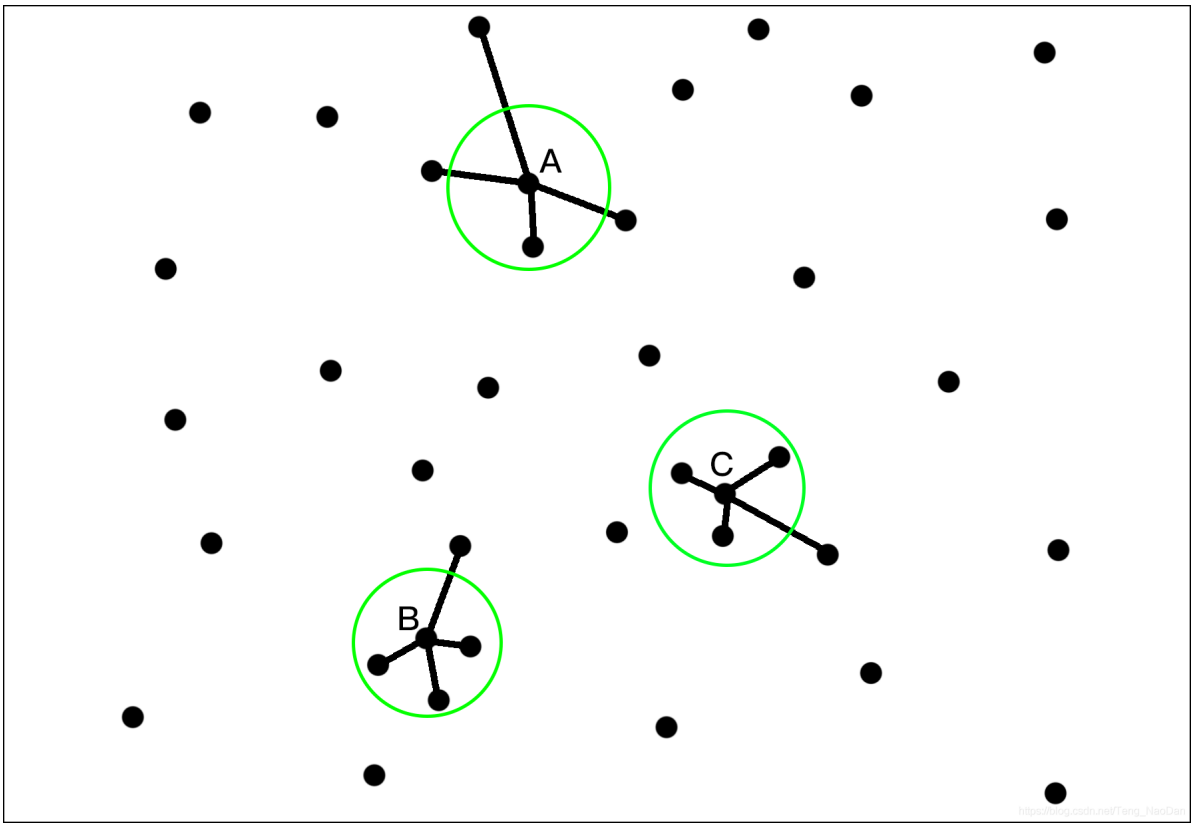
```
/// @brief 对点云进行近似体素下采样，可有效减少点云数量
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudSharp类的PointCloudPointer属性
/// @param leaf_size 下采样叶子尺寸，该值越大，采样后点云越稀疏
/// @param out_pc 采样后的点云对象指针，使用PointCloudSharp类的PointCloudPointer属性
/// @note 近似体素下采样比体素下采样速度更快，同样参数的情况下，采样后的点数也更多。它逼近的是体素质心
public static extern void approximateVoxelDownSample(IntPtr in_pc, double leaf_size, IntPtr out_pc);
```

3.2.4 staFilter

```
/// @brief 对点云进行统计滤波，可去除离群点
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param neighbor_num 指定一个点的邻居数目
/// @param thresh 统计滤波阈值
/// @param out_pc 结果点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @note 点的平均距离在[μ-α×σ,μ+α×σ]之外的点被剔除，thresh即是α，默认为1。
/// μ和σ分别是整个点云距离的均值和标准差。在DD马达端面跳动测量中，neighbor_num建议取50，thresh建议取1
public static extern void staFilter(IntPtr in_pc, int neighbor_num, float thresh, IntPtr out_pc);
```

算法原理：
逐点计算统计点与邻域中neighbor_num个点的平均距离。假设得到的距离的分布为高斯分布，就可以得到均值μ和标准差σ，以μ+std_mul*σ为距离阈值，距离在区间之外的点便视为离群点。其中std_mul是用户指定的标准差倍数的阈值，即参数中的thresh。

如下图所示，圆形的半径为距离阈值，则A点邻域有3个点被视为离群点，B、C点邻域各有1个点被视为离群点。



3.2.5 passThroughFilter

```
/// @brief 对点云进行直通滤波处理
/// @details 直通滤波是一种依赖于坐标的滤波方法。通过指定要滤波的轴，并设置要过滤的大小区间来进行滤波
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param axis_name 指定对哪个轴过滤，只有三个参数供选择，分别是'x','y'和'z'。字母应小写
/// @param limit_min 过滤区间的最小值
/// @param limit_max 过滤区间的最大值
/// @param negative 指定是否反向过滤。negative大于0时，说明是反向过滤，即剔除[limit_min,limit_max]区间之内的点，反之亦然
/// @param out_pc 结果点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @note 一般来说，建议将negative设置为0，不执行反向过滤，即只剔除[limit_min,limit_max]区间之外的点
public static extern void passThroughFilter(IntPtr in_pc,
[MarshalAs(UnmanagedType.LPStr)] string
    axis_name,float limit_min, float limit_max, int negative, IntPtr out_pc);
```

3.2.6 sigamFilter

```
/// @brief sigam法则剔除异常值
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param sigam_thresh sigam系数值，一般为3
/// @param out_pc 结果点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @note 在DD马达端面跳动测量中，sigam_thresh建议取2
public static extern void sigamFilter(IntPtr in_pc, int sigam_thresh, IntPtr
out_pc);
```

3.2.7 radiusFilter

```
/// @brief 半径滤波，可去除离群点
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param radius 指定半径范围
/// @param num_thresh 在指定半径范围内的个数阈值。
/// @param out_pc 结果点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @note 半径滤波思路很简单，首先指定某点的半径范围，然后计算在该半径范围内的近邻点数目
/// 若该数目小于指定的num_thresh，则剔除该点。该滤波剔除稀疏的点云效果好
public static extern void radiusFilter(IntPtr in_pc,  double radius, int
num_thresh, IntPtr out_pc);
```

3.3 Segmentation

Segmentation模块主要封装了点云的分割功能，目前主要封装了区域生长和欧式分割等功能。

3.3.1 oriGrowRegion

```
/// @brief 原始区域生长
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param neighbor_num 指定一个点的邻居数目
/// @param smooth_thresh 两法向量夹角阈值
/// @param curva_thresh  曲率阈值
/// @param MinClusterSize 成为一个点云簇的最小点数
/// @param MaxClusterSize 成为一个点云簇的最大点数
/// @param out_pc 点云簇向量指针，存储了各个点云簇的索引。使用PointIndices类的
PointIndicesPointer属性
/// @note 获得了out_pc指针之后，里面只是存储了点云簇的索引，并不是真实的点云，所以还需要使用
Util类中的
/// copyPcBaseOnIndice函数将对应的点云簇复制出来
public static extern void oriGrowRegion(IntPtr in_pc, int neighbor_num, float
smooth_thresh,
                                        float curva_thresh,int MinClusterSize,
int MaxClusterSize,
                                        IntPtr out_Indices);
```

算法概述：

该算法的目的是合并在平滑约束条件下足够接近的点。因此，该算法的输出数据结构是由聚类组成的数组，其中每个聚类都是被认为是同一光滑表面的一部分的点的集合。该分割算法适合于小曲率的阶梯面分割。

算法流程：
首先将曲率最小的点作为初始种子点，然后开始区域生长，过程如下：

\1. 选中的点添加到种子集合中

\2. 对于每一个种子点，找到它的邻近点。这里需要设置的就是neighbor_num参数，设置一个点的近邻数

\3. 算出每个相邻点的法线和当前种子点的法线之间的角度，如果角度小于smooth_thresh阈值，认为这两点在一个平面上，则将当前点添加到当前区域。

\4.然后计算每个邻居点的曲率值，如果曲率小于阈值curva_thresh，那这个点将被添加到种子集合中进行下一步测试。

\5.将当前的种子从种子列表中移除。

一直重复上述步骤，直到种子列表变成空的，则区域生长结束。

3.3.2 modifiedGrowRegion

```
/// @brief 修改了的区域生长，这个函数将会直接返回点数最多的点云簇
/// @details 这个函数内部做了一次点云簇筛选，只选取点云数最多的点云簇作为输出，所以它的输出是
一个点云对象指针
/// 即PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param neighbor_num 指定一个点的邻居数目
/// @param smooth_thresh 两法向量夹角阈值
/// @param curva_thresh  曲率阈值
/// @param MinClusterSize 成为一个点云簇的最小点数
/// @param MaxClusterSize 成为一个点云簇的最大点数
/// @param out_pc 结果点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @note 在DD马达端面跳动测量中，neighbor_num建议取50，smooth_thresh和curva_thresh建议
取1
/// MinClusterSize建议取100，MaxClusterSize建议取5000000
```

```
public static extern void modifiedGrowRegion(IntPtr in_pc, int neighbor_num,
float smooth_thresh,
                                              float curva_thresh,int
MinClusterSize, int MaxClusterSize,
     IntPtr out_pc);
```

3.3.3 euclideanCluster

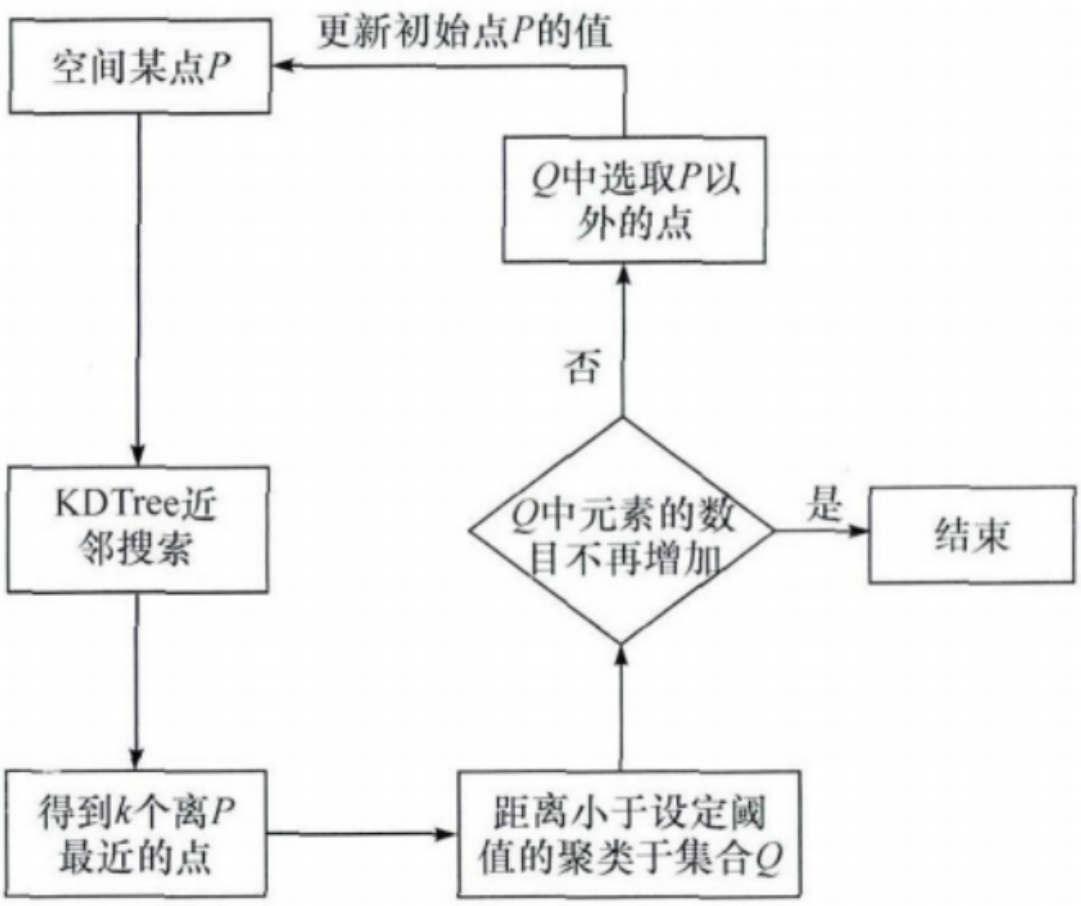
```
/// @brief 欧式聚类
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param distance_thresh 欧式聚类的距离阈值，欧式聚类小于这个距离的点被归为一类
/// @param MinClusterSize 成为一个点云簇的最小点数
/// @param MaxClusterSize 成为一个点云簇的最大点数
/// @param out_pc 点云簇向量指针，存储了各个点云簇的索引。使用PointIndices类的
PointIndicesPointer属性
/// @note 获得了out_pc指针之后，里面只是存储了点云簇的索引，并不是真实的点云，所以还需要使用
Util类中的
/// copyPcBaseOnIndice函数将对应的点云簇复制出来。
/// @attention 该算法时间复杂度有点高
public static extern void euclideanCluster(IntPtr in_pc, double distance_thresh,
int MinClusterSize,
                                           int MaxClusterSize, IntPtr
out_Indices);
```

算法流程：
1 找到空间中某点p10，有kdTree找到离他最近的n个点，判断这n个点到p的距离。将距离小于阈值r的点p12,p13,p14...放入Q中；或者找距离他指定范围内的所有点，放入Q中。

2 在 Q(p10) 里找到一点p12,重复1

3 在 Q(p10,p12) 找到一点，重复1，找到p22,p23,p24...全部放进Q里

4 当 Q 再也不能有新点加入了，则完成搜索了；



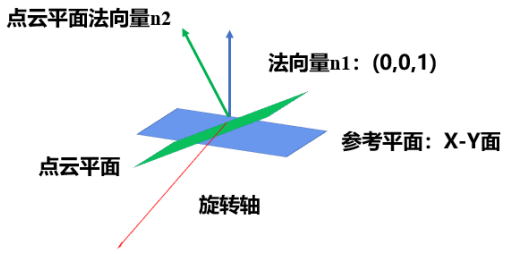
3.4 Util

Util模块主要封装了一些实用的工具函数，比如校正平面、根据点云索引复制点云

3.4.1 correctPlane

```
/// @brief 将点云校正到和法向量为（0,0,1)平面平行
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param normal 待校正平面的方程系数
/// @param out_pc 结果点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
public static extern void correctPlane(IntPtr in_pc,float[] normal, IntPtr
out_pc);
```

算法原理：



目的：
将点云平面旋转到和参考平面平行
步骤：
旋转前法向量为n2，旋转后法向量为n1（0,0,1）。
(1)把两个向量单位化，再通过点积可直接求得向量的夹角θ；
(2)对n1、n2两向量叉积求得垂直于这两个向量所在平面的法向量，即旋转轴，将旋转轴单位化得到单位向量k。
(3)最后将夹角θ和旋转轴的单位向量k代入罗德里格斯旋转公式，即可得到对应的旋转矩阵。
(4)最后利用得到的旋转矩阵对点云平面作旋转变换

$$T=\begin{vmatrix} \cos\theta+k_x^2(1-\cos\theta) & k_xk_y(1-\cos\theta)-k_z\sin\theta & k_y\sin\theta+k_xk_z(1-\cos\theta) \\ k_z\sin\theta+k_xk_y(1-\cos\theta) & \cos\theta+k_y^2(1-\cos\theta) & -k_x\sin\theta+k_yk_z(1-\cos\theta) \\ -k_y\sin\theta+k_xk_z(1-\cos\theta) & k_x\sin\theta+k_yk_z(1-\cos\theta) & \cos\theta+k_z^2(1-\cos\theta) \end{vmatrix}$$

3.4.2 copyPcBaseOnIndice

```
/// @brief 根据点云的索引复制点云
/// @param in_pc 输入的目标点云
/// @param in_indice 输入的点云索引指针，它应该是从PointIndices类中的GetPointIndice函数中获取。
/// 这指定了你要从in_pc中复制的点云索引
/// @param out_pc 返回复制好的点云
/// @note 这个函数应该与oriGrowRegion配合使用
public static extern void copyPcBaseOnIndice(IntPtr in_pc, IntPtr in_indice, IntPtr out_pc);
```

3.5 SampleConsensus

SampleConsensus模块主要封装了一些基于随机抽样一致性的算法，比如基于Ransac的点云平面拟合等

3.5.1 fitPlane

```
/// @brief 使用Ransac算法拟合点云平面
/// @param in_pc 输入的点云对象指针，使用PointCloudXYZ类的PointCloudXYZPointer属性
/// @param distance_thresh 距离阈值
/// @param max_itera 最大迭代次数
/// @param normal 返回拟合平面的一般方程系数，依次包含a、b、c、d四个值。方程形式为ax+by+cz+d=0
/// @return 返回的是拟合的点云平面与法向量是（0,0,1)平面的夹角
/// @note 在DD马达端面跳动测量中，distance_thresh建议取10，max_itera建议取100
public static extern float fitPlane(IntPtr in_pc, float distance_thresh, int max_itera, float[] normal);
```

算法原理：

（1）首先，随机选择两个点确定一个直线方程。

（2）通过这两个点，我们可以计算出这两个点所表示的模型方程y=ax+b。

（3）我们将所有的数据点套到这个模型中计算误差，这里的误差可以是每个点到直线的距离之和。

（4）我们找到所有小于误差阈值的点，也就是内点。从下图可以看到，蓝色的点是内点，红色的点是外点。

（5）然后我们再重复（1）~（4）这个过程，直到达到一定迭代次数后，我们选出内点数目最多的模型，作为问题的解。