

# 全国大学生测绘学科创新创业智能大赛

## 测绘程序设计比赛

### 《试题册》

比赛说明 .....	2
一、比赛要求 .....	2
二、成果说明 .....	2
三、无效成果认定 .....	3
评分说明 .....	4
试题：激光点云数据的平面分割 .....	5
一、数据文件读取 .....	5
二、程序算法 .....	6
1. 基于栅格投影的点云分割算法 .....	6
2. 随机抽样一致（RANSAC）平面分割 .....	7
3. 点云水平截面投影 .....	10
三、计算结果报告 .....	10
四、用户界面设计 .....	11

2023 年 7 月

# 比赛说明

## 一、比赛要求

1. 比赛形式：参赛小组由 1 人组成，每人配置 1 台电脑。请考生提前准备好硬件设备和网络环境。

2. 比赛流程：比赛时间为 4 小时，比赛开始时，分发《试题册》和数据文件。

3. 编程环境与编程语言：考试软件为 Visual studio 2017。编程语言限制为 Basic、C/C++、C#，不允许使用二次开发平台（如 Matlab、AutoCAD、ArcGIS 等）。

4. 特殊情况处理：比赛过程中，如果需要上厕所，需要在“2023 全国测绘程序设计比赛群（871237110）”或“2023 全国测绘程序设计比赛二群（群号：873068421）”留言报告。

## 二、成果说明

1. 计算成果要求：在成果的任何地方都不得出现参赛编号、学校信息或参赛队员信息。

### 2、成果一：程序正确性

在考生端“程序正确性”界面，根据试题要求填写计算结果。该成果用于程序正确性评分，提交方式如图 1 所示。

次序	描述	得分	答案(必填, 双击填写此列)
1	基点 P0 的坐标分量 x	1	
2	基点 P0 的坐标分量 y	1	
3	基点 P5 的坐标分量 x	1	
4	基点 P5 的坐标分量 y	1	
5	第 3 个凸包点的坐标	1	
6	第 3 个凸包点的坐标	1	
7	第 5 个凸包点的坐标	1	
8	第 5 个凸包点的坐标	1	
9	最小外包矩形	1	
10	最小外包矩形	1	
11	网格单元	2	
12	网格单元	2	
13	网格单元	1	
14	网格单元	1	
15	r 值(外	2	
16	外包矩形左下角顶点的横	1	
17	外包矩形右下角顶点的横	1	
18	外包矩形左上角顶点的纵程	1	
19	外包矩形左上角顶点的纵程	1	

图 1 程序正确性提交方式

### 3、成果二：P2023.rar

源程序命名为：“P2023.rar”，内容包括：源码文件、可执行文件等。严格按照图 2 目录组织和文件命名，提交方法如图 3 所示。

(1) 源码文件：保存所编写的程序代码，及其工程等相关文件

(2) 可执行文件；保存可执行文件(.exe)和动态连接库文件(.dll)。

(3) result.txt：根据《试题册》要求，利用“正式数据.txt”的计算结果。

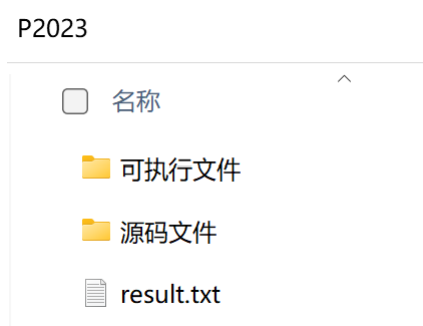


图 2 成果文件组织标准



图 3 源码成果上传方式

### 三、无效成果认定

有以下任何情况之一，成果将被认定为无效：

1. 比赛过程中浏览了历史项目文件、或者平时训练成果文件；
2. 比赛过程中进行了浏览互联网、微信和 QQ，接打电话等操作。

## 评分说明

测绘程序设计比赛满分 100 分，其中比赛用时成绩 20 分，程序正确性成绩 60 分，程序规范性和优化性成绩 20 分。比赛用时成绩和程序正确性成绩由计算机自动评分，程序规范性和优化性由专家团队评分。

### 1. 程序正确性评分（60 分）

根据《试题册》要求，编程完成相关算法，根据“程序正确性”给分点要求，将相关计算结果填写考生端“程序正确性”界面，并提交。

本项内容用于检验算法的正确性，该项成绩由计算机自动评阅。

### 2. 比赛用时评分（20 分）

比赛用时成绩总分为 20 分，记为  $S_0$ 。第  $i$  组参赛选手提交的时间设为  $T_i$ ，其本项成绩得分  $S_i$  的计算公式为：

$$S_i = \left( 1 - \frac{T_i - T_1}{T_n - T_1} \times 40\% \right) \times S_0$$

式中： $T_1$  是第一组“程序正确性成绩  $\geq 30$  分”参赛队伍的比赛时间。 $T_n$  是在规定时间内最后一组参赛队伍的比赛时间。由该公式可知：第一组的时间得分为 20 分， $T_n$  组的时间分为 12 分。

特殊情况说明：（1）第一组之前提交的参赛选手，本项成绩为 15 分；（2）比赛用时超过比赛规定时间 15 分钟以内，本项成绩为 7 分；（3）比赛用时超过比赛规定时间 15 分钟以上，取消比赛资格。

### 3. 专家评分（20 分）

评测内容	评分细则说明
程序规范性 (10 分)	计算成果显示规范 (4 分)
	程序结构完整、函数与类结构设计清晰 (3 分)
	注释规范、类、函数和变量命名规范 (3 分)
程序优化性 (10 分)	人机交互界面设计良好 (4 分)
	算法、显示等功能符合要求 (3 分)
	容错性、鲁棒性好 (3 分)

## 试题：激光点云数据的平面分割

点云数据分割的目标是将具有相似特征的点聚类成均匀区域，主要方法有基于边缘信息的分割、基于模型拟合的分割、基于属性的分割等多种方法。本题主要基于采用基于栅格投影的点云分割算法和随机抽样一致（RANSAC）平面分割方法。

### 一、数据文件读取

数据文件名称为“正式数据”文件。数据由二大部分组成，第一部分是点云数据的个数，第二大部分是各个点的坐标信息，分别是点名， $x$  坐标， $y$  坐标， $z$  坐标，以  $m$  为单位。数据内容如表 1 所示。

表 1 数据内容和格式说明

数据内容	格式说明
1000 P1,80.872,46.799,1.096 P2,35.028,71.675,1.165 P3,74.658,13.928,1.172 P4,71.048,41.082,1.061 P5,1.498,7.312,3.073 P6,14.731,13.271,1.198 .....	点云数量 点名, $x,y,z$

**【程序正确性】**记录 P5 的坐标值，并统计所有点的极值，结果保留 3 位小数。（已经填写的数据仅供参考）。

序号	说明	输出格式要求
1	P5 的坐标分量 $x$	1.498
2	P5 的坐标分量 $y$	*,***
3	P5 的坐标分量 $z$	3.073
4	坐标分量 $x$ 的最小值 $x_{min}$	*,***
5	坐标分量 $x$ 的最大值 $x_{max}$	*,***
6	坐标分量 $y$ 的最小值 $y_{min}$	*,***
7	坐标分量 $y$ 的最大值 $y_{max}$	99.935
8	坐标分量 $z$ 的最小值 $z_{min}$	*,***
9	坐标分量 $z$ 的最大值 $z_{max}$	5.668

## 二、程序算法

### 1. 基于栅格投影的点云分割算法

将原始点云进行栅格化，计算栅格单元高度差、平均高度和高度方差信息，综合三个指标实现地面点云快速分割。

#### 1.1 点云数据栅格化

如图 1 所示，将研究区域分成  $10 \times 10$  个栅格，栅格单元的长（dx）和宽（dy）取值为 10m。

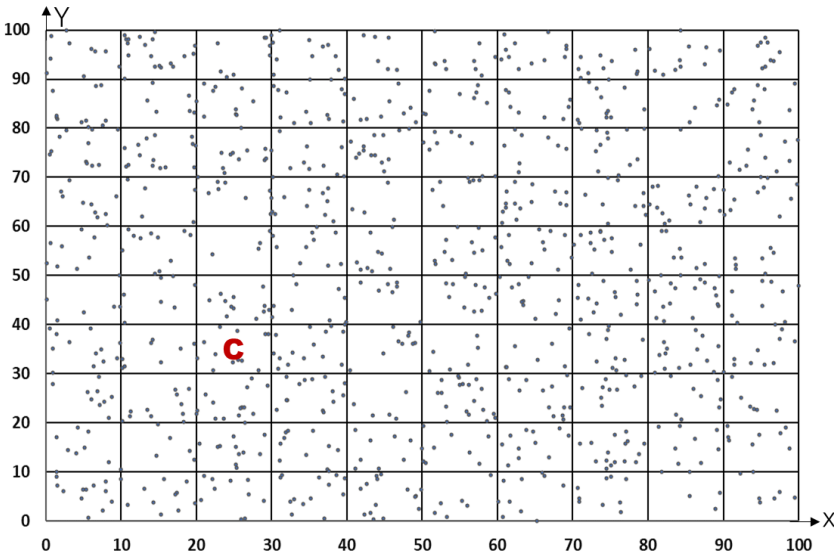


图 1 点云数据栅格化处理方法

激光点 P 可根据其坐标  $(x_p, y_p)$  分配至栅格  $(i, j)$  中，栅格的行  $(i)$  和列  $(j)$  的计算公式如下：

$$\begin{cases} i = \text{floor}(\frac{y_p}{dy}) \\ j = \text{floor}(\frac{x_p}{dx}) \end{cases} \quad (1)$$

式中， $\text{floor}(\cdot)$  为向下取整函数。原始点云数据经过栅格化处理，每个点都会唯一对应一个栅格序号，最终将激光点云全部存储在栅格矩阵中。

**【程序正确性】** 计算 P5 所在的栅格，如图 1 所示，选择栅格 C 为测试栅格单位，统计栅格单元 C 中的点云数目，结果为整数。（已经填写的数据仅供参考）。

10	P5 点的所在栅格的行 i	*
11	P5 点的所在栅格的列 j	0
12	栅格 C 中的点的数量	*

## 1.2 计算栅格单元的几何特征信息

计算栅格单元的几何特征信息。主要计算栅格单元平均高度、高度差和高度方差。

### (1) 计算栅格单元的平均高度

对于栅格单元  $\text{ceil}(i, j)$ ，其平均高度为：

$$\bar{z}(i, j) = \frac{1}{\text{size}(\text{ceil}(i, j))} \sum_{k \in \text{ceil}(i, j)} z_k \quad (2)$$

式中  $i, j$  表示栅格单元  $\text{ceil}(i, j)$  的行号和列号， $\text{size}(\cdot)$  表示求栅格单元存储点云的数量， $k$  为栅格单元  $\text{ceil}(i, j)$  中的点， $z_k$  表示  $k$  点的  $Z$  值。

### (2) 计算栅格单元的高度差

对于栅格单元  $\text{ceil}(i, j)$ ，其高度差为：

$$z_{\text{diff}}(i, j) = z_{\text{max}} - z_{\text{min}} \quad (3)$$

式中， $z_{\text{max}}$  和  $z_{\text{min}}$  分别为栅格单元  $\text{ceil}(i, j)$  的高度的最大值和最小值。

对于一般平坦地面场景，非平面点云栅格单元高度差一般较大。

### (3) 计算栅格单元的高度方差

对于栅格单元  $\text{ceil}(i, j)$ ，其高度方差为：

$$\sigma^2(i, j) = \frac{1}{\text{size}(\text{ceil}(i, j))} \sum_{k \in \text{ceil}(i, j)} [z_k - \bar{z}(i, j)]^2 \quad (4)$$

栅格单元的高度方差信息可以较好地反映栅格点云的高度分布。一般情况下，对于平面点云栅格，其栅格单元的高度方差较小，对于非平面点云栅格，其方差信息较大。

**【程序正确性】** 计算栅格单元 C 的平均高度、高度的最大值、高度差和高度方差，统计栅格 C 中的点云数目，结果保留 3 位小数。(已经填写的数据仅供参考)。

13	栅格 C 中的平均高度	*.***
14	栅格 C 中高度的最大值	1.192
15	栅格 C 中的高度差	*.***
16	栅格 C 中的高度方差	*.***

## 2. 随机抽样一致 (RANSAC) 平面分割

随机抽样一致 (RANDOM Sample Consensus, RANSAC) 算法是 1981 年由 Fischler 和 Bolles 首次提出，它是一种迭代方法，用于从一组包含内部点 (Inliers) 和外部点

(outliers) 数据中，通过迭代方式估计出数学模型的参数。内部点 (Inliers) 可以解释为适合模型参数的一组点，外部点 (outliers) 则是不适合模型的点

RANSAC 是一种不确定的算法——它有一定的概率得出一个合理的结果，为了提高概率必须提高迭代次数。为了便于评估程序正确性，本试题采用按照顺序方法选点，即在第一

次平面拟合时，选取前三个点（即：P1、P2、P3）用于平面拟合；在第二次迭代时，按顺序先后选择另外三个点（即：P4、P5、P6）用于平面拟合；第三次迭代时选择 P7、P8、P9 用于平面拟合，依次类推。

在计算第一个最佳分割平面（J1）时，共迭代 300 次，计算第二个最佳分割平面（J2）时，共迭代 100 次。

## 2.1 平面拟合

从数据集中选取前三个点  $P1(x_1, y_1, z_1)$ ， $P2(x_2, y_2, z_2)$ ， $P3(x_3, y_3, z_3)$  用于平面拟合。

用于平面拟合的三个点不能在一条直线上。三点共线检测方法：计算三点构成的面积，当面积  $S$  大于某一阈值（计算时，阈值取  $0.1m^2$ ）时，则三点不共线。采用海伦公式计算三角形面积：

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} \quad (5)$$

其中  $p = (a+b+c)/2$ ， $a, b, c$  是 P1-P2、P2-P3、P3-P1 之间的距离。

则构成的平面方程如下：

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (6)$$

其中 A、B、C、D 的计算公式如下：

$$\begin{aligned} A &= (y_2 - y_1) \times (z_3 - z_1) - (y_3 - y_1) \times (z_2 - z_1) \\ B &= (z_2 - z_1) \times (x_3 - x_1) - (z_3 - z_1) \times (x_2 - x_1) \\ C &= (x_2 - x_1) \times (y_3 - y_1) - (x_3 - x_1) \times (y_2 - y_1) \\ D &= -A \times x_1 - B \times y_1 - C \times z_1 \end{aligned} \quad (7)$$

**【程序正确性】**利用“正式数据.txt”的 P1、P2、P3 拟合一个平面(记为 S1)，计算其平面参数 A、B、C、D 值，结果保留 6 位小数。

17	P1-P2-P3 构成三角形的面积	*, *****
18	拟合平面 S1 的参数 A	*, *****
19	拟合平面 S1 的参数 B	*, *****
20	拟合平面 S1 的参数 C	*, *****
21	拟合平面 S1 的参数 D	*, *****

## 2.2 内部点和外部点计算

计算数据集中的剩余点（共 997 个）与所构建平面之间的关系。计算方法如下：计算每个点到第一步（第 2.1 节）构建平面的距离，该距离小于某一阈值时（计算时，阈值取  $0.1m$ ），那么将该点设为该平面的内部点。



点  $P_0(x_0, y_0, z_0)$  到平面  $Ax + By + Cz + D = 0$  的距离公式如下：

$$d = \frac{|A * x_0 + B * y_0 + C * z_0 + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (8)$$

**【程序正确性】**利用“正式数据.txt”的 P1000、P5 到拟合平面 S1 的距离，并统计平面 S1 的内部点和外部点数目，前 2 项结果保留 3 位小数，后 2 项结果输出为整数。（已经填写的数据仅供参考）。

22	P1000 到拟合平面 S1 的距离	0.262
23	P5 到拟合平面 S1 的距离	*, ***
24	拟合平面 S1 的内部点数量	*
25	拟合平面 S1 的外部点数量	*

## 2.3 最佳分割平面计算

重复第 2.1 和 2.2 节的计算步骤，每次按顺序依次选择 3 个点（第 2 次选择 P4、P5、P6；第 3 次择 P7、P8、P9，……）用于平面拟合，共迭代计算 **300** 次，找到内点数最多的那个面，该平面则为最佳分割平面（记为 J1）。

**【程序正确性】**利用“正式数据.txt”全部数据，获得最佳分割平面（J1），给出 J1 的平面参数 A、B、C、D，以及内部点和外部点数目。前 4 项结果保留 6 位小数，后 2 项结果输出为整数。（已经填写的数据仅供参考）。

26	最佳分割平面 J1 的参数 A	*, *****
27	最佳分割平面 J1 的参数 B	*, *****
28	最佳分割平面 J1 的参数 C	*, *****
29	最佳分割平面 J1 的参数 D	*, *****
30	最佳分割平面 J1 的内部点数量	*
31	最佳分割平面 J1 的外部点数量	260

## 2.4 迭代计算平面分割

从数据集中除最佳分割面 J1 的内部点、及拟合 J1 平面的所用的三个点，所剩余的点构成一个新的数据集。

利用剩余点数据集，重复第 2.1、2.2 和 2.3 节的操作步骤，寻找第二个最佳分割面。共迭代计算 **80** 次，找到内点数最多的那个面，记为 J2。

**【程序正确性】**对剩余点构建第二个最佳分割平面（记为：J2），给出 J2 的平面参数 A、B、C、D，以及内部点和外部点数目。前 4 项结果保留 6 位小数，后 2 项结果输出为整数。（已经填写的数据仅供参考）。

32	分割平面 J2 的参数 A	*, *****
33	分割平面 J2 的参数 B	*, *****

34	分割平面 J2 的参数 C	*, ****
35	分割平面 J2 的参数 D	*, ****
36	分割平面 J2 的内部点数量	137
37	分割平面 J2 的外部点数量	*

### 3. 点云水平截面投影

假定不在平面上的三维空间坐标为  $(x_0, y_0, z_0)$ ，其在平面上的投影点坐标为  $(x_t, y_t, z_t)$ 。因为投影点到当前点与平面垂直，根据垂直约束条件，计算公式为：

$$\begin{cases} x_t = \frac{(B^2 + C^2)x_0 - A(By_0 + Cz_0 + D)}{A^2 + B^2 + C^2} \\ y_t = \frac{(A^2 + C^2)y_0 - B(Ax_0 + Cz_0 + D)}{A^2 + B^2 + C^2} \\ z_t = \frac{(A^2 + B^2)z_0 - C(Ax_0 + By_0 + D)}{A^2 + B^2 + C^2} \end{cases} \quad (9)$$

可解得三维空间的点投影到某一平面的坐标  $(x_t, y_t, z_t)$ 。在得到投影后的坐标。

**【程序正确性】** 计算 P5 点到最佳分割面 (J1) 的投影坐标，计算 P800 点到最佳分割面 (J2) 的投影坐标。计算结果保留 3 位小数。

38	P5 点到最佳分割面 (J1) 的投影坐标 $x_t$	*, ***
39	P5 点到最佳分割面 (J1) 的投影坐标 $y_t$	*, ***
40	P5 点到最佳分割面 (J1) 的投影坐标 $z_t$	*, ***
41	P800 点到最佳分割面 (J1) 的投影坐标 $x_t$	*, ***
42	P800 点到最佳分割面 (J1) 的投影坐标 $y_t$	*, ***
43	P800 点到最佳分割面 (J1) 的投影坐标 $z_t$	*, ***

## 三、计算结果报告

编程保存点云分割结果，结果保存在“result.txt”文件中。保存内容包括“点名，X，Y，Z，标识”。其中 X、Y、Z 保留 3 位小数，当点为 J1 内部点时，标识为 J1，点为 J2 内部点时，标识为 J2，其余情况的标识为 0。

点名，X，Y，Z，标识 P0,0.125,45.085,1.039,J1 .....
--

## 四、用户界面设计

### 4.1 人机交互界面设计与实现要求：

- (1) 包括菜单、工具栏、表格等功能。
- (2) 要求功能正确、可正常运行，布局合理、直观美观、人性化；

### 4.2 计算报告的显示与保存

要求：

- (1) 将相关统计信息、计算报告在用户界面中显示；
- (2) 保存为文本文件 (\*.txt)；