



中华人民共和国国家标准

GB/T 36100—2018

机载激光雷达点云数据质量评价指标 及计算方法

Indices and computation method of quality assessment for airborne LiDAR
point cloud data

2018-03-15 发布

2018-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 机载激光雷达点云数据质量评价指标	2
5 机载激光雷达点云数据质量评价指标计算方法	2
5.1 激光雷达点云密度	2
5.2 激光雷达点云高程精度	2
5.2.1 最大高程误差	2
5.2.2 高程中误差	3
5.2.3 相对高程中误差	3
5.2.4 航带拼接高程误差	3
5.3 激光雷达点云平面精度	4
5.3.1 最大平面位置误差	4
5.3.2 平面位置中误差	4
5.3.3 相对平面位置中误差	5
5.3.4 航带拼接平面位置误差	6
5.4 激光雷达点云粗差率	6
5.5 激光雷达点云强度质量	6
5.5.1 强度信息熵	6
5.5.2 强度信噪比	7
参考文献	8



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国科学院提出。

本标准由全国遥感技术标准化技术委员会(SAC/TC 327)归口。

本标准起草单位:中国科学院光电研究院、中国测绘科学研究院、中国科学院大学。

本标准主要起草人:李传荣、周梅、张慧静、黎荆梅、胡坚、马莲、李伟、吴昊昊、周春城、陈育伟、李晓辉、刘照言、贾媛媛、王新鸿、苏国中、姜小光、宋现峰、宋小宁、唐家奎、芮小平。



机载激光雷达点云数据质量评价指标 及计算方法

1 范围

本标准规定了用于机载激光雷达点云数据质量评价的激光雷达点云密度、高程精度、平面精度等指标及计算方法。

本标准适用于机载单回波、多回波激光雷达点云数据的质量评价,星载激光雷达点云数据的质量评价可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

CH/T 1021—2010 高程控制测量成果质量检验技术规程

CH/T 1022—2010 平面控制测量成果质量检验技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

激光雷达 light detection and ranging; LiDAR

发射激光束并接收回波以获取目标三维信息的系统。

[GB/T 14950—2009,定义 4.150]

3.2

点云 point cloud

以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

[CH/T 8023—2011,定义 3.3]

3.3

激光雷达点云 LiDAR point cloud

通过激光雷达扫描获得的点云。

[CH/T 8023—2011,定义 3.4]

3.4

点云密度 density of point cloud

以高程方向为法向方向,单位面积上点云中激光点的平均数量。

注:改写 CH/T 8023—2011,定义 3.5

3.5

点云粗差 outlier of point cloud

激光雷达点云数据中不属于地表激光点的离群点。

4 机载激光雷达点云数据质量评价指标

激光雷达点云数据质量评价指标如下：

- 点云密度：用于描述单位面积上激光雷达点的平均数量；
- 高程精度：用于评价激光雷达点云数据的高程与其真实的地面高程之间误差分布离散程度的指标，采用最大高程误差、高程中误差、相对高程中误差进行评价，对于有重叠航带的激光雷达点云数据可采用航带拼接高程误差进行高程精度评价；
- 平面精度：用于评价激光雷达点云数据的平面位置与其真实的地面位置之间误差分布的离散程度，采用最大平面位置误差、平面位置中误差、相对平面位置中误差进行评价，对于有重叠航带的激光雷达点云数据可采用航带拼接平面位置误差进行平面精度评价；
- 粗差率：用于描述激光雷达点云数据中点云粗差出现的概率；
- 强度质量：用于评价激光雷达点云数据的强度信息，采用信息熵和信噪比进行评价。

5 机载激光雷达点云数据质量评价指标计算方法

5.1 激光雷达点云密度

激光雷达点云密度利用全测区(水域除外)激光点个数与全测区(水域除外)面积进行计算。

激光雷达点云密度 ρ 按式(1)计算：

$$\rho = \frac{n - \sum_{i=0}^m n_i}{A - \sum_{i=0}^m A_i} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- ρ ——激光雷达点云密度，单位为个每平方米(个/m²)；
- n ——测区内激光雷达点云总点数，单位为个；
- n_i ——第 i 个水域内激光雷达点云点数，单位为个；
- m ——测区内水域个数，单位为个；
- A ——全测区激光雷达点云覆盖的面积，单位为平方米(m²)；
- A_i ——第 i 个水域激光雷达点云覆盖的面积，单位为平方米(m²)。

5.2 激光雷达点云高程精度

5.2.1 最大高程误差

最大高程误差用于评价激光雷达点云数据的高程与其真实的地面高程之间的最大差别，利用测区野外检查点数据进行评定。检查点测量方法与精度应符合 CH/T 1021—2010 中 6.5 相关要求，且分布均匀、位置明显，避免选择航带重叠区及高程急剧变化处。检查点应位于裸露的平坦地面上；检查点数量视激光雷达点云密度、覆盖范围、覆盖类型等具体情况确定，宜不少于 15 个；检查点高程基准应与激光点云高程基准一致。利用以检查点为中心的邻近激光点内插出检查点位置的高程，进行误差计算。

最大高程误差 d_{max} 按式(2)计算：

$$d_{max} = \max(|Z_i - \hat{Z}_i|) \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- d_{max} ——最大高程误差，单位为米(m)；

Z_i ——第 i 个检查点对应的激光点内插高程值,单位为米(m), $i=1,2,\dots,n$;

n ——检查点个数,单位为个;

\hat{Z}_i ——第 i 个检查点的实测高程值,单位为米(m), $i=1,2,\dots,n$ 。

5.2.2 高程中误差

高程中误差用于评价激光雷达点云数据的高程与其真实的地面高程之间的差别,利用测区野外检查点数据进行评定。检查点应符合 5.2.1 的规定。利用以检查点为中心的邻近激光点内插出检查点位置的高程,进行误差计算。

高程中误差 Z_{RMSE} 按式(3)计算:

$$Z_{\text{RMSE}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \hat{Z}_i)^2}{n}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

Z_{RMSE} ——高程中误差,单位为米(m);

Z_i ——第 i 个检查点对应的激光点内插高程值,单位为米(m);

n ——检查点个数,单位为个;

\hat{Z}_i ——第 i 个检查点的实测高程值,单位为米(m)。

5.2.3 相对高程中误差

相对高程中误差用于评价激光雷达点云数据的高程与平均高程之间的差别,利用裸露的平面作为检测平面(平面上激光点数量视激光雷达点云密度等具体情况确定,宜不少于 15 个激光点)进行评定。计算检测平面内激光点的高程平均值,使用激光雷达点云高程值与均值的差值来评定激光雷达点云相对高程中误差。对于高程值与高程平均值之差大于 2 倍相对高程中误差的激光点应进行校核,判断该点是否属于检测平面。将不属于检测平面的点去除后,再次计算相对高程中误差,避免非检测平面点造成的误差。

相对高程中误差 Z_σ 按式(4)计算:

$$Z_\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

其中,

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Z_σ ——相对高程中误差,单位为米(m);

Z_i ——第 i 个激光点的高程值,单位为米(m);

n ——检测平面中激光点个数,单位为个;

\bar{Z} ——激光雷达点云高程平均值,单位为米(m)。

5.2.4 航带拼接高程误差

航带拼接高程误差用于评价相邻航带间激光雷达点云数据的高程差别,采用相邻航带重叠区域激光雷达点云数据进行评定。选取重叠区域内一定数量(宜不少于 15 处)的裸露平面作为检测平面,检测

平面应尽量分布均匀。分别计算检测平面的单航带激光雷达点云的高程平均值以及相邻航带激光雷达点云的高程平均值,计算高程平均值的差值,所有检测平面差值的平均值即为航带拼接高程误差。计算前需对检测平面激光点数据进行分析,对高程值与高程平均值之差大于2倍高程中误差的激光点进行校核,判断该点是否属于检测平面。将不属于检测平面的点去除后,再计算高程平均值,避免非检测平面点造成的误差。

航带拼接高程误差 A_z 按式(6)计算:

$$A_z = \frac{\sum_{j=1}^m (\bar{Z}_j - \bar{Z}'_j)}{m} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

A_z ——航带拼接高程误差,单位为米(m);

m ——选取检测平面个数,单位为个;

\bar{Z}_j ——单航带激光雷达点云在第 j 个检测平面的高程平均值,单位为米(m),计算方法同式(5);

\bar{Z}'_j ——相邻航带激光雷达点云在第 j 个检测平面的高程平均值,单位为米(m),计算方法同式

(5)。

5.3 激光雷达点云平面精度

5.3.1 最大平面位置误差

最大平面位置误差用于评价样本数据中激光雷达点云数据的平面位置与其真实的地面位置之间的最大差别,利用测区野外检查点数据进行评定。检查点测量与精度应符合 CH/T 1022—2010 中 6.3 相关要求,检查点应分布均匀、位置明显,位于高程突变的目标地物等明显标识处。检查点数量视激光雷达点云密度、覆盖范围、覆盖类型等具体情况确定,宜不少于 15 个;检查点坐标系应与激光点云坐标系一致。激光雷达点云在 X 方向和 Y 方向的最大平面位置误差也可用于反映激光雷达点云数据的平面位置与其真实的地面位置之间的最大差别。

最大平面位置误差按式(7)计算, X 方向上的最大平面位置误差按式(8)计算, Y 方向上的最大平面位置误差按式(9)计算:

$$d_{XY\max} = \max \left[\sqrt{(X_i - \hat{X}_i)^2 + (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \right] \dots\dots\dots (7)$$

$$d_{X\max} = \max(|X_i - \hat{X}_i|) \dots\dots\dots (8)$$

$$d_{Y\max} = \max(|Y_i - \hat{Y}_i|) \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$d_{XY\max}$ ——最大平面位置误差,单位为米(m);

X_i ——激光点在 X 方向上的平面位置,单位为米(m), $i=1,2,\dots,n$;

n ——检查点个数,单位为个;

\hat{X}_i ——检查点在 X 方向上的实际平面位置,单位为米(m), $i=1,2,\dots,n$;

Y_i ——激光点在 Y 方向上的平面位置,单位为米(m), $i=1,2,\dots,n$;

\hat{Y}_i ——检查点在 Y 方向上的实际平面位置,单位为米(m), $i=1,2,\dots,n$;

$d_{X\max}$ ——激光雷达点云在 X 方向上的最大平面位置误差,单位为米(m);

$d_{Y\max}$ ——激光雷达点云在 Y 方向上的最大平面位置误差,单位为米(m)。

5.3.2 平面位置中误差

平面位置中误差用于评价激光雷达点云数据的平面位置与其真实的地面位置之间的差别,利用测

区野外检查点数据进行评定。检查点应符合 5.3.1 的规定。

平面位置中误差 XY_{RMSE} 按式(10)计算：

$$XY_{RMSE} = \pm \sqrt{X_{RMSE}^2 + Y_{RMSE}^2} \dots\dots\dots(10)$$

其中，

$$X_{RMSE} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}{n}} \dots\dots\dots(11)$$

$$Y_{RMSE} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \dots\dots\dots(12)$$

式中：

- XY_{RMSE} ——激光雷达点云平面位置中误差,单位为米(m)；
- X_{RMSE} ——激光雷达点云在 X 方向上的平面位置中误差,单位为米(m)；
- Y_{RMSE} ——激光雷达点云在 Y 方向上的平面位置中误差,单位为米(m)；
- n ——检查点个数,单位为个；
- X_i ——激光点在 X 方向上的平面位置,单位为米(m)；
- \hat{X}_i ——检查点在 X 方向上的实际平面位置,单位为米(m)；
- Y_i ——激光点在 Y 方向上的平面位置,单位为米(m)；
- \hat{Y}_i ——检查点在 Y 方向上的实际平面位置,单位为米(m)。

5.3.3 相对平面位置中误差

相对平面位置中误差用于评价激光雷达点云数据平面位置的内部变形程度,利用测区野外检查点数据进行评定。检查点应符合 5.3.1 的规定。

利用检查点对两点之间的长度变形来评定激光雷达点云相对平面位置中误差,相对平面位置中误差 XY_σ 按式(13)计算：

$$XY_\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (d_{i,j} - \hat{d}_{i,j})^2}{n}} \dots\dots\dots(13)$$

其中：

$$d_{i,j} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \dots\dots\dots(14)$$

$$\hat{d}_{i,j} = \sqrt{(\hat{X}_i - \hat{X}_j)^2 + (\hat{Y}_i - \hat{Y}_j)^2} \dots\dots\dots(15)$$

式中：

- XY_σ ——相对平面位置中误差,单位为米(m)；
- k ——激光雷达点云数据范围内的检查点对个数,单位为个；
- n ——激光雷达点云数据范围内所有检查点对的总数,单位为个；
- $d_{i,j}$ ——激光雷达点云中检查点 i 和检查点 j 之间的平面距离,单位为米(m), $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, m$ ；
- m ——检查点个数,单位为个；
- $\hat{d}_{i,j}$ ——检查点 i 和检查点 j 之间的实际地面平面距离,单位为米(m)；
- X_i ——检查点 i 在 X 方向上的平面位置,单位为米(m)；

- X_j —— 检查点 j 在 X 方向上的平面位置,单位为米(m);
- Y_i —— 检查点 i 在 Y 方向上的平面位置,单位为米(m);
- Y_j —— 检查点 j 在 Y 方向上的平面位置,单位为米(m)。

5.3.4 航带拼接平面位置误差

航带拼接平面位置误差用于评价相邻航带间激光雷达点云数据的平面位置差别,采用相邻航带重叠区域激光雷达点云数据进行评定。选取重叠区域内一定数量(宜不少于 15 个)的特征点,特征点可选取高程突变处的目标地物,应尽量分布均匀、位置明显。通过拟合特征点所在的边缘线交点作为检测点,分别计算单航带检测点与相邻航带同名检测点的平面坐标差值,各差值的平均值即为航带拼接平面位置误差。

航带拼接平面位置误差 A_{XY} 按式(16)计算:

$$A_{XY} = \pm \sqrt{A_X^2 + A_Y^2} \dots\dots\dots(16)$$

其中,

$$A_X = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X'_i)^2}{n}} \dots\dots\dots(17)$$

$$A_Y = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)^2}{n}} \dots\dots\dots(18)$$

式中:

- A_{XY} —— 航带拼接平面位置误差,单位为米(m);
- A_X —— X 方向航带拼接平面位置误差,单位为米(m);
- A_Y —— Y 方向航带拼接平面位置误差,单位为米(m);
- n —— 选取检测点对数,单位为个;
- X_i —— 检测点 i 在单航带激光雷达点云中 X 方向上的平面位置,单位为米(m);
- X'_i —— 检测点 i 在相邻航带激光雷达点云中 X 方向上的平面位置,单位为米(m);
- Y_i —— 检测点 i 在单航带激光雷达点云中 Y 方向上的平面位置,单位为米(m);
- Y'_i —— 检测点 i 在相邻航带激光雷达点云中 Y 方向上的平面位置,单位为米(m)。

5.4 激光雷达点云粗差率

在全测区范围内通过人工识别判断点云粗差,并统计粗差点个数,计算测区的激光点云粗差率 r 。激光雷达点云粗差率按式(19)计算:

$$r = \frac{n_r}{n} \times 100\% \dots\dots\dots(19)$$

式中:

- r —— 激光雷达点云粗差率;
- n_r —— 激光点云粗差点数,单位为个;
- n —— 激光点云总点个数,单位为个。

5.5 激光雷达点云强度质量

5.5.1 强度信息熵

强度信息熵用来评价激光雷达点云数据中强度值的无序程度。

激光雷达点云数据的强度信息熵 E 按式(20)计算:

$$E = n \times \overline{E} \quad \dots\dots\dots(20)$$

其中,

$$\overline{E} = - \sum_{i=1}^m P_i \log_2 P_i \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$P_i = \frac{\nu_i}{n} \quad \dots\dots\dots(22)$$

式中:

E ——激光雷达点云数据的强度信息熵,单位为比特(bit);

n ——激光点云总点个数,单位为个;

\overline{E} ——激光雷达点云数据的强度平均信息熵,单位为比特(bit);

P_i ——经定标后激光雷达点云数据中第 i 级强度值出现的概率,定标是指将激光原始回波强度值校正为经消除大气传输、激光扫描角等影响后真实反映地物反射率的强度值;

m ——强度值的总级数;

ν_i ——强度值为第 i 级的激光点个数,单位为个。

5.5.2 强度信噪比

强度信噪比用于评价激光雷达点云数据的强度值与噪声强弱的关系,反映了激光雷达强度值受噪声干扰的程度,选取激光雷达点云数据中目标强度分布均匀的区域(区域中激光点数量视激光雷达点云密度等具体情况确定,宜不少于 15 个激光点),计算该区域内激光雷达点云数据强度值的平均值和标准差进行评定。

激光雷达点云数据的强度信噪比 R_{snr} 按式(23)计算:

$$R_{\text{snr}} = 10 \log_{10} \frac{\overline{DN}}{\sigma} \quad \dots\dots\dots(23)$$

其中,

$$\overline{DN} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DN_i \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (DN_i - \overline{DN})^2} \quad \dots\dots\dots(25)$$

式中:

R_{snr} ——强度信噪比,单位为分贝(dB);

\overline{DN} ——该区域内激光点定标后的强度值的平均值;

DN_i ——所选区域第 i 个激光点定标后的强度值;

n ——激光点个数,单位为个;

σ ——该区域内激光点定标后的强度值的标准差。



参 考 文 献

- [1] GB/T 14950—2009 摄影测量与遥感术语
 - [2] CH/T 8023—2011 机载激光雷达数据处理技术规范
-

