

测绘地理信息点云数据压缩编码规范

Specifications for the point cloud compression of
geomatics

(征求意见稿)

(本稿完成时间：2023年2月26日)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国测绘学会 发布

目 次

| | |
|---------------------------|-----|
| 前 言 | III |
| 引 言 | IV |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 缩略语 | 3 |
| 5 基本要求 | 3 |
| 6 技术要求 | 3 |
| 7 压缩效果评价 | 4 |
| 附录 A（资料性附录）数据压缩应用示例 | 6 |
| 附录 B（规范性附录）压缩效果评价 | 9 |
| 参 考 文 献 | 12 |

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件起草单位：XXXXX、XXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

引 言

点云数据压缩按照统一的规则进行压缩、传输、存储和解压缩，构建了多源、多尺度场景点云数据的压缩参考框架。为满足测绘地理信息领域对于海量、多源、多尺度场景点云高保真压缩的需求，使测绘地理信息点云压缩编码技术在统一框架下有效运行、操作和分析，特制定本标准。

本标准旨在实现低比特率、低失真率的点云压缩，使得在有限的存储空间容量和网络传输带宽中实时地渲染和传输密集点云成为可能，进一步提升三维点云服务国家重大需求和行业应用的能力，填补了测绘地理信息跨行业应用的空白。

测绘地理信息点云数据压缩编码规范

1 范围

本文件规定了测绘地理信息点云数据压缩的基本要求、技术要求、效果评价等内容。

本文件适用于测绘地理信息领域采用点云数据进行数据处理、传输、存储及应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。

ISO/IEC 23090-5:2021 Visual volumetric video-based coding (V3C) and video-based point cloud compression (V-PCC)

ISO/IEC 23090-9:2021 Geometry-based point cloud compression (G-PCC)

CH/T 3020-2018:3.6 实景三维地理信息数据激光雷达测量技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

点云数据 point cloud data

目标表面特性的海量点集合,包含几何和属性两类型信息,一般是通过激光测量或摄影测量获得的。

3.2

信息类型 components

用于描述三维空间的几何信息和属性信息。

3.3

几何信息 geometry

点在三维空间位置的一组三维坐标,通常用 (x, y, z) 表示。

3.4

属性信息 attribute

一组与每个点云点关联的要素,可用于进一步描述点云,包括颜色、反射强度、回波次数、法线信息、扫描角度、采集时间等属性。

3.5

体素 voxel

可以用于表示点云几何形态的空间大小均匀的三维网格。

3.6

压缩 compression

通过利用原始数据中的冗余和不相关性来降低目标质量的编码率,以便在有限的带宽通道和存储设备上传输和存储。

3.7

解压 decompression

将在接收器处获得的比特流重新转换为采用的表示格式，输出与点云数据编码的格式相同或相似的格式点云数据，以便可以对其进行呈现和显示的过程。

3.8

有损压缩 lossy compression

通过量化删除了不必要的、视觉上无用的信息，从而减小了数据量，使得原始点云数据和解压缩后的点云数据之间存在一些失真。

3.9

无损压缩 lossless compression

通过识别并消除统计冗余，同时完全保留原始信息，使数据结构更加紧凑，解压缩后的点云与原始点云相同，包括点的数量、各点关联的属性信息。

3.10

实时压缩 real-time compression

在点云数据写入磁盘前进行压缩，使用的存储空间比实际的数据量更少。

3.11

低时延压缩 low-delay compression

在点云数据写入磁盘后进行压缩，实现硬件、处理速度、传输速度和点云质量的最佳平衡。

3.12

对称均方根距离 symmetric root mean square distance (sRMS)

以原始点云为参考，计算解压缩点云基于几何距离的平均距离误差的最大值。

3.13

对称豪斯多夫距离 symmetric Hausdorff distance distance (sHausd)

表示要评估的两个互为邻域的点云之间最大的几何距离。

3.14

几何峰值信噪比 geometry peak signal-to-noise ratio (gPSNR)

以原始点云作参考，考虑了原始点云的边界框最大宽度和对称均方根距离，计算基于几何形状的位置偏差。

3.15

属性信息峰值信噪比 attribute peak signal-to-noise ratio (aPSNR)

将原始点云的每个属性分量与解码后的云中最近点的对应属性进行比较，从而得出每个属性分量的峰值信噪比aPSNR。

3.16

比特 bit

信息量的度量单位，1比特表示二进制数的一位包含的信息。

3.17

点比特位数 bits per point (bpp)

每个点所占用的有效比特数。

3.18

压缩比 `compression ratio`

原点云数据文件大小与通过压缩后的点云数据文件大小之比。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件：

PCL-PCC：点云库的点云压缩技术（point cloud library point cloud compression）

G-PCC：动态图像专家组的点云压缩技术（geometry-based point cloud compression）

C2C：点与点之间的对应关系（cloud to cloud）

5 基本要求

5.1 测绘地理信息点云数据宜采用无损压缩，在不损失目标关键信息，且不影响后续应用的条件下可采用有损压缩。

5.2 采用有损压缩时，数据压缩前后的信息类型应保持一致。

5.3 符合本规范要求外，也应符合相关的技术标准需求。

5.4 同一种应用场景，宜采用同一种压缩技术。

5.5 压缩时采用的参数与解压缩的采用参数应保持一致。

5.6 数据压缩前后的格式应保持一致。

5.7 压缩解压缩后需要进行质量评价。

5.8 应采用通用的压缩技术方法，鼓励采用先进的压缩技术。

5.9 经压缩后的点云数据存储、传输和应用，应符合国家对点云数据的保密要求。

6 技术要求

6.1 压缩方法与指标

6.1.1 数据压缩根据压缩结果分为无损压缩和有损压缩。

6.1.2 数据压缩采用与压缩质量评价相同的指标，具体包括压缩比、几何信息峰值信噪比、颜色信息峰值信噪比、反射强度信息峰值信噪比，具体计算方式见第7章。

6.2 无损压缩

无损压缩应满足以下要求：

- a) 压缩比应不小于3；
- b) 几何信息（xyz）、颜色信息（RGB）和反射强度信息（I）等在压缩前后无损失；
- c) 当需要采用实时传输时，压缩速度应能满足实时传输需求；
- d) 压缩方法可采用PCL-PCC、Draco、G-PCC、LASzip等，具体应用场景与技术要求见表1。

表1 无损压缩的基本技术要求

| 压缩比 | 几何信息峰值信噪比 | 颜色信息峰值信噪比 | 反射强度信息峰值信噪比 | 适用场景 | 适用方法 |
|----------|-----------|-----------|-------------|-----------------------|-----------------------------|
| ≥ 3 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 无人驾驶、地形类等 | PCL-PCC、Draco、G-PCC、LASzip等 |
| ≥ 4 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 植被类、城市建(构)筑物、文物、地下空间等 | PCL-PCC、Draco、G-PCC、LASzip等 |

6.3 有损压缩

有损压缩应满足以下要求：

- a) 压缩比应不小于 5；
- b) 数据压缩前后几何信息 (xyz)、颜色信息 (RGB) 和反射强度信息 (I) 等信息类型应无损失；
- c) 数据压缩结果应满足使用需求；
- d) 当压缩数据应用需要采用实时传输需求时，压缩速度应能满足实时传输需求；
- e) 压缩方法可采用 PCL-PCC、Draco、G-PCC 等，具体应用场景与技术要求见表 2。应用示例参见附录 A。

表2 有损压缩的基本技术要求

| 压缩比 | 几何信息峰值信噪比 | 颜色信息峰值信噪比 | 反射强度信息峰值信噪比 | 适用场景 | 适用方法 |
|----------|-----------|-----------|-------------|----------|----------------------|
| ≥ 7 | ≥ 50 | ≥ 40 | ≥ 35 | 植被类、地形类等 | PCL-PCC、G-PCC、Draco等 |
| ≥ 5 | ≥ 50 | ≥ 30 | ≥ 40 | 无人驾驶等 | PCL-PCC、G-PCC、Draco等 |

7 压缩效果评价

7.1 点云数据压缩效果评价分为压缩质量评价和压缩性能评价。

数据压缩场景应用与评价示例参见附录 A。

7.2 质量评价分为几何信息评价和属性信息评价。

几何信息评价采用 Cloud to Cloud (C2C) 获得的几何峰值信噪比对解码点云的几何质量进行评估；属性信息评价采用 Cloud to Cloud (C2C) 获得的信息峰值信噪比对解码点云的属性质量进行评估。

7.3 压缩性能分为压缩效率评价和算法复杂度评价。

压缩效率评价需要根据压缩文件比特数进行衡量,算法复杂度评价应根据运行时所需要的时间资源和内存资源进行衡量。

7.4 具体评价方法见附录 B。

附录 A
数据压缩应用示例
(资料性附录)

A.1 植被碳汇应用示例

A.1.1 植被碳汇应用主要包含林业蓄积量调查、森林和城市碳汇等，宜采用机载、地面站和移动式激光雷达获取点云数据。

A.1.2 植被碳汇应用应满足以下要求：

- a) 低时延压缩；
- b) 对三维几何、反射强度、颜色属性进行压缩；
- c) 宜采用无损压缩，可以进行有损压缩，不得丢失地表物体几何形态。

A.1.3 植被碳汇应用可使用PCL-PCC、Draco、G-PCC和LASzip等方法进行点云数据压缩，具体参数设置与技术要求见表3。

表3 植被碳汇压缩的参数设置和技术要求

| 方法 | 参数设置 | | | 技术要求 | | | |
|-------------|------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 压缩质量 | 压缩模式 | 压缩参数 | 压缩比 | 几何信息峰值信噪比 | 颜色信息峰值信噪比 | 反射强度信息峰值信噪比 |
| PCL-PC C | 无损 | 细节编码，非降采样 | 实际分辨率 | ≥ 4 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |
| | 有损 | 非细节编码，降采样 | 按需分辨率 | ≥ 7 | ≥ 50 | ≥ 40 | ≥ 35 |
| Draco | 无损 | 无损压缩，不作量化 | 压缩等级 7-10 | ≥ 6 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |
| | 有损 | 有损压缩，参数 12-30 | 压缩等级 7-10 | ≥ 10 | ≥ 50 | ≥ 40 | ≥ 35 |
| G-PCC | 无损 | 无损压缩 | 实际分辨率 | ≥ 8 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |
| | 有损 | 有损压缩， $r \geq 3$ | 按需分辨率 | ≥ 15 | ≥ 50 | ≥ 40 | ≥ 35 |
| LASzip | 无损 | 固定 | 固定 | ≥ 4 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |

A.2 城市三维实景应用示例

A.2.1 城市三维实景应用主要用于城市建筑道路规划与管理，建筑物室内外一体化调查等，宜采用地面站、移动式以及手持式激光雷达获取点云数据。

A.2.2 城市三维实景应用应满足以下要求：

- a) 低时延压缩；
- b) 对三维几何、反射强度、颜色属性、类别进行压缩；
- c) 应采用无损压缩。

A.2.3 城市三维实景应用可使用PCL-PCC、Draco、G-PCC和LASzip等方法进行点云数据压缩，具体参数设置与技术要求见表4。

表4 城市实景三维压缩的参数设置和技术要求

| 方法 | 参数设置 | | | 技术要求 | | | |
|-------------|------|---------------|--------------|----------|-----------|-----------|-------------|
| | 压缩质量 | 压缩模式 | 压缩参数 | 压缩比 | 几何信息峰值信噪比 | 颜色信息峰值信噪比 | 反射强度信息峰值信噪比 |
| PCL-PC C | 无损 | 细节编码， 非降采样 | 实际分辨率 | ≥ 4 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |
| Draco | 无损 | 无损压缩， 不作量化 | 压缩等级 7-10 | ≥ 6 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |
| G-PCC | 无损 | 无损压缩 | 实际分辨率 | ≥ 8 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |
| LASzip | 无损 | 固定 | 固定 | ≥ 4 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |

A.3 无人驾驶应用示例

A.3.1 无人驾驶应用主要用于障碍物检测、分类和场景理解以及实时路径和驾驶决策规划等，宜采用GPS、IMU、相机等设备的组合来定位，通过车载激光扫描设备获取点云数据。

A.3.2 无人驾驶应用应满足以下要求：

- a) 实时压缩；
- b) 对三维几何、反射强度、颜色属性进行压缩；
- c) 宜采用无损压缩，可以进行有损压缩，不得丢失地表物体的基本几何形态，最大化保留点云真彩色、强度等属性信息。

A.3.3 无人驾驶应用可使用PCL-PCC、G-PCC和LASzip等方法进行点云数据压缩，具体参数设置与技术要求见表5。

表5 无人驾驶压缩的参数设置和技术要求

| 方法 | 参数设置 | | | 技术要求 | | | |
|-------------|------|------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 压缩质量 | 压缩模式 | 压缩参数 | 压缩比 | 几何信息峰值信噪比 | 颜色信息峰值信噪比 | 反射强度信息峰值信噪比 |
| PCL-PC C | 无损 | 细节编码，非降采样 | 实际分辨率 | ≥ 3 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |
| | 有损 | 非细节编码，降采样 | 按需分辨率 | ≥ 5 | ≥ 50 | ≥ 35 | ≥ 40 |
| G-PCC | 无损 | 无损压缩 | 实际分辨率 | ≥ 6 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |
| | 有损 | 有损压缩， $r \geq 3$ | 按需分辨率 | ≥ 10 | ≥ 50 | ≥ 35 | ≥ 40 |
| LASzip | 无损 | 固定 | 固定 | ≥ 4 | 趋于无穷 | 趋于无穷 | 趋于无穷 |

附 录 B
压缩效果评价
(规范性附录)

B.1 压缩质量评价

B.1.1 几何信息评价

几何信息评价可采用对称均方根距离、对称豪斯多夫距离、几何信息峰值信噪比进行评价，具体。

- a) 对称均方根距离：以原始点云为参考，计算解压缩基于几何距离的平均距离误差的最大值，具体计算见公式（1）（2）：

$$d_{rms}(V_{or}, V_{dec}) = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{\substack{v_o \in V_{or} \\ v_d \in V_{dec}}} \|v_o(i) - v_d(k)\|^2} \quad (1)$$

$$sRMS(V_{or}, V_{dec}) = \max(d_{rms}(V_{or}, V_{dec}), d_{rms}(V_{dec}, V_{or})) \quad (2)$$

式中：

V_{or} ——原始点云；

V_{dec} ——解压缩点云；

$v_o(i)$ ——原始点云中的某一点；

$v_d(k)$ ——原始点云中某一点所对应的最邻近解压缩点云；

k ——原始点云中的点数；

d_{rms} ——最近点之间的平均距离；

$sRMS$ ——对称均方根距离。

- b) 对称豪斯多夫距离：计算待评估的两个互为邻域的点云之间最大的几何距离，具体计算见公式（3）（4）：

$$Hausd(V_{or}, V_{dec}) = \max(\|v_o(i) - v_d(k)\|) \quad (3)$$

$$sHausd(V_{or}, V_{dec}) = \max(Hausd(V_{or}, V_{dec}), Hausd(V_{dec}, V_{or})) \quad (4)$$

式中：

$Hausd$ ——豪斯多夫距离；

$sHausd$ ——对称豪斯多夫距离。

- c) 几何信息峰值信噪比：以原始点云作参考，考虑了原始点云的边界框最大宽度和对称均方根距离，计算基于几何形状的位置偏差，几何信息峰值信噪比越大，压缩失真越小，具体计算见公式（5）（6）：

$$BB_{width} = \max((x_{max} - x_{min}), (y_{max} - y_{min}), (z_{max} - z_{min})) \quad (5)$$

$$gPSNR = 20 \log_{10}(BB_{width}/sRMS(V_{or}, V_{dec})) \quad (6)$$

式中：

BB_{width} ——原始点云边界框的最大宽度；

$gPSNR$ ——几何信息峰值信噪比。

B. 1.2 属性信息评价

属性信息评价包括颜色属性评价和反射强度属性评价等,属性信息峰值信噪比越大,压缩失真越小,具体计算公式如下:

$$aPSNR = 10\log_{10}\left(\frac{p^2}{e_{sym}}\right) \quad (7)$$

式中:

$aPSNR$ ——属性信息峰值信噪比;

e_{sym} ——属性信息峰值,可以取对称均方根距离 $sRMS(V_{or}, V_{dec})$ 或者对称豪斯多夫距离 $sHausd(V_{or}, V_{dec})$,具体计算见公式 (3) (4)。

p ——属性值的峰值。

- a) 对于颜色属性,均方误差(MSE)应分别在YUV空间的三个颜色分量上计算,MSE失真下的PSNR计算时的峰值 p 应设置为1;而豪斯多夫距离应分别在RGB空间的三个颜色分量上计算,豪斯多夫距离下PSNR计算时的峰值 p 应设置为255。
- b) 对于反射强度属性,此时PSNR在MSE失真与豪斯多夫距离这两种情况下峰值 p 都应被设置为65535。

B.2 压缩性能评价

B.2.1 压缩效率评价

压缩效率评价采用压缩比和存储每个点所占的比特位数来评价，压缩比越高压缩效率就越高，BPP越低压缩效率越高。

- a) 压缩比应利用原始点云数据大小和通过压缩后的点云数据大小之比计算，具体计算见公式(8)：

$$Ratio = \frac{Size_{or}}{Size_{dec}} \quad (8)$$

式中：

$Ratio$ ——压缩比；

$Size_{or}$ ——原始点云数据大小；

$Size_{dec}$ ——压缩后点云数据大小。

- b) 每个点所占的比特位数应包含该点附属的所有信息所占用的有效比特数，具体计算见公式(9)：

$$bpp = \frac{Size_{dig}}{k} \quad (9)$$

式中：

bpp ——每个点所占的比特位数；

$Size_{dig}$ ——点云数据总有效比特数；

k ——原始点云中的点数。

B.2.2 算法复杂度评价

算法复杂度采用时间复杂度和空间复杂度进行评价。时间复杂度应包含执行算法所需要的计算工作量，空间复杂度评价执行算法所需要的内存空间。

- a) 时间复杂度应统计在计算机内执行点云压缩算法时所消耗的时间，具体计算见公式(10)：

$$T(n) = O(f(n)) \quad (10)$$

式中：

$T(n)$ ——时间复杂度；

n ——问题的规模；

$f(n)$ ——算法关于 n 所执行次数之和，而 O 表示正比例关系。

- b) 空间复杂度应统计在计算机内执行点云压缩算法所需的存储空间，应包括如下三点：①算法程序所占的空间，②输入的原始点云所占的存储空间，③算法执行过程中所占用的内存空间，具体计算见公式(11)：

$$S(n) = O(f(n)) \quad (11)$$

式中：

$S(n)$ ——空间复杂度；

n ——问题的规模；

$f(n)$ ——算法关于 n 所需的存储空间，而 O 表示正比例关系。

参 考 文 献

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 CODING OF MOVING PICTURES AND AUDIO
 - [2] ISO/IEC 23090-5:2021 Visual volumetric video-based coding (V3C) and video-based point cloud compression (V-PCC)
 - [3] ISO/IEC 23090-9:2021 Geometry-based point cloud compression (G-PCC)
 - [4] CH/T 3020-2018:3.6 实景三维地理信息数据激光雷达测量技术规程
 - [5] Pereira F, Dricot A, Ascenso J, et al. Point cloud coding: A privileged view driven by a classification taxonomy[J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2020, 85: 115862.
 - [6] Cao C, Preda M, Zaharia T. 3D point cloud compression: A survey[C]. *The 24th International Conference on 3D Web Technology*. 2019: 1-9.
 - [7] Liu H, Yuan H, Liu Q, et al. A comprehensive study and comparison of core technologies for MPEG 3-D point cloud compression[J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2019, 66(3): 701-717.
 - [8] Graziosi D, Nakagami O, Kuma S, et al. An overview of ongoing point cloud compression standardization activities: video-based (V-PCC) and geometry-based (G-PCC) [J]. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, 2020, 9.
 - [9] Isenburg M. LASzip: lossless compression of LiDAR data[J]. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 2013, 79(2): 209-217.
 - [10] Feng Y, Liu S, Zhu Y. Real-time spatio-temporal lidar point cloud compression[C]. *2020 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS)*. IEEE, 2020: 10766-10773.
 - [11] 张卉冉, 董震, 杨必胜, 黄荣刚, 徐大展. 点云压缩研究进展与趋势[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2023, 48(2): 192-205. doi: 10.13203/j.whugis20210103
-