

三维激光扫描指向校正研究

刘 阳¹ 江明珠²

1. 江苏省南京工程高等职业学校 江苏南京 211100

2. 镇江市丹徒区宜瑞建筑工程质量检测有限责任公司 江苏镇江 212028

摘 要: 三维激光扫描是利用电流的变化来计算水平旋转角度和竖直旋转角度, 但由于仪器的老化、旋转惯性、电池的衰减等因素, 在接收电流的变化过程中存在偏差, 其得到的水平角及竖直角不是正确的角度值^[1]。本文设计了以全站仪高精度的坐标数据作为基准, 对RIEGL VZ-4000三维激光扫描的水平角、竖直角进行校正。

关键词: 指向校正; 三维激光扫描; 坐标转换

Research on 3D laser scanning direction correction

Yang Liu¹, Mingzhu Jiang²

1. Nanjing Engineering Vocational College, Nanjing, Jiangsu, 211100

2. Zhenjiang Dantu District Yirui Construction Engineering Quality Testing Co., Ltd, Zhenjiang, Jiangsu, 212028

Abstract: 3D laser scanning utilizes changes in current to calculate horizontal and vertical rotation angles. However, due to factors such as instrument aging, rotational inertia, battery decay, etc., there are deviations in the process of receiving current changes, resulting in incorrect values for the horizontal and vertical angles^[1]. In this paper, a design is proposed to correct the horizontal and vertical angles of the RIEGL VZ-4000 3D laser scanner using high-precision coordinate data from a total station as a reference.

Keywords: pointing correction, 3D laser scanning, coordinate conversion

引言:

三维激光扫描进行数据采集时, 首先在水平角上进行旋转, 进而在该水平角上进行竖直方向扫描。其工作原理如图1所示。本文在三维激光扫描仪器外部设置四个特征点, 通过四个特征点坐标建立目标坐标系与点云坐标系之间的转换关系, 进而完成目标坐标系校正点云坐标系。

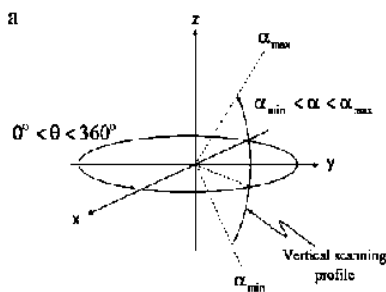


图1 激光雷达工作原理

一、理论推导

RIEGL VZ-4000 三维激光扫描坐标通过指向角和竖直角以及距离计算得到, 其在水平方向上角度为 θ , 竖直方

向角度为 ph , 测距为 d 。则点云计算理论为公式 (1-4)。

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-1)$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos(ph) & 0 & -\sin(ph) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(ph) & 0 & \cos(ph) \end{bmatrix} \quad (1-2)$$

$$R_d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho \end{bmatrix} \quad (1-3)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R_z \cdot R_y \cdot R_d = \begin{bmatrix} -\sin(\theta) \cdot \cos(ph) \cdot \rho \\ \sin(\theta) \cdot \sin(ph) \cdot \rho \\ \cos(\theta) \cdot \rho \end{bmatrix} \quad (1-4)$$

对公式 (1-4) 进行泰勒级数展开

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos(ph) \cdot \sin(\theta) \\ \rho \cdot \sin(ph) \cdot \sin(\theta) \\ \rho \cdot \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (1-5)$$

$$= \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos(ph) \cdot \sin(ti) \\ \rho \cdot \sin(ph) \cdot \sin(ti) \\ \rho \cdot \cos(ti) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos(ph) \cdot \cos(ti) & -\rho \cdot \sin(ph) \cdot \sin(ti) \\ \rho \cdot \cos(ti) \cdot \sin(ph) & \rho \cdot \cos(ph) \cdot \sin(ti) \\ -\rho \cdot \sin(ti) & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dti \\ dph \end{bmatrix}$$

将RIEGL vz-4000三维激光扫描得到的坐标值当做观测值, 经过坐标转换后的目标坐标值当做坐标基准, 计算RIEGL vz-4000的指向改正值。

$$v = \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos(ph) \cdot \sin(ti) \\ \rho \cdot \sin(ph) \cdot \sin(ti) \\ \rho \cdot \cos(ti) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos(ph) \cdot \cos(ti) & -\rho \cdot \sin(ph) \cdot \sin(ti) \\ \rho \cdot \cos(ti) \cdot \sin(ph) & \rho \cdot \cos(ph) \cdot \sin(ti) \\ -\rho \cdot \sin(ti) & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dti \\ dph \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} \quad (1-6)$$

$$\text{令 } B = \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos(ph) \cdot \cos(ti) & -\rho \cdot \sin(ph) \cdot \sin(ti) \\ \rho \cdot \cos(ti) \cdot \sin(ph) & \rho \cdot \cos(ph) \cdot \sin(ti) \\ -\rho \cdot \sin(ti) & 0 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} dti \\ dph \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos(ph) \cdot \sin(ti) \\ \rho \cdot \sin(ph) \cdot \sin(ti) \\ \rho \cdot \cos(ti) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix}$$

所以公式(1-6)可以写成

$$V = B \cdot X + L \quad (1-7)$$

根据最小二乘原理得

$$X = (B^T \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot L \quad (1-8)$$

其中dti、dph即为竖直角的角度改正值和水平角改正值。

二、校正实验

本文采用的全站仪为南方NTS-552, 其精度为2+2ppm, 三维激光扫描的测距精度为15mm。全站仪精度远高于三维激光扫描精度, 可以用于校正实验。共校正9组数据, 其特征点坐标数据为表1.1。

通过特征点坐标计算目标坐标到点云坐标转换参数, 将目标坐标转换到点云坐标系下。如表1.2。

通过理论公式构建误差方程, 基于最小二乘原理, 计算9次水平角、竖直角改正数。其水平角改正数为5", 竖直角改正数为-6"。

表 1.1 特征点坐标数据

| 目标坐标 | | | 点云坐标 | | | | |
|------|----------|----------|---------|----|--------|--------|-------|
| 点号 | X (m) | Y (m) | Z (m) | 点号 | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| T1 | 5535.837 | 3396.733 | -93.736 | t1 | -0.020 | 0.100 | 0.166 |
| T2 | 5535.838 | 3396.469 | -93.756 | t2 | 0.231 | 0.010 | 0.155 |
| T3 | 5535.941 | 3396.682 | -93.686 | t3 | -0.010 | -0.015 | 0.222 |
| T4 | 5535.990 | 3396.616 | -93.626 | t4 | 0.040 | -0.085 | 0.282 |

表 1.2 目标坐标到点云坐标转换以及点云坐标计算

| 点号 | 目标坐标到点云坐标转 | | | 点号 | 计算点云坐标值 | | |
|----|------------|---------|-------|----|---------|---------|-------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 1 | -14.186 | -13.793 | 0.119 | 1 | -14.187 | -13.792 | 0.119 |
| 2 | -14.272 | -13.238 | 0.121 | 2 | -14.272 | -13.236 | 0.121 |
| 3 | -14.461 | -13.427 | 0.124 | 3 | -14.461 | -13.429 | 0.124 |
| 4 | -14.693 | -13.499 | 0.138 | 4 | -14.692 | -13.497 | 0.119 |
| 5 | -15.038 | -13.705 | 0.152 | 5 | -15.036 | -13.702 | 0.116 |
| 6 | -15.336 | -13.920 | 0.175 | 6 | -15.337 | -13.919 | 0.104 |
| 7 | -15.698 | -14.222 | 0.196 | 7 | -15.697 | -14.219 | 0.095 |
| 8 | -15.962 | -14.351 | 0.216 | 8 | -15.964 | -14.350 | 0.085 |
| 9 | -16.206 | -14.598 | 0.218 | 9 | -16.206 | -14.597 | 0.091 |

三、结论

三维激光扫描由于仪器老化, 旋转惯性等因素会导致指向角和竖直角与真实角度值之间存在偏差, 通过理论公式进行校正, 可以提高其指向角度精度。

参考文献:

[1]刘阳.长测程地基激光雷达几何校正研究[D].江苏师范大学, 2017.

[2]刘梦华, 周梅.顾及入射角的全波形激光雷达数据校正方法[J].遥感技术与应用, 2014, 29(4)

[3]刘峰, 谭畅.全波形Lidar数据分解方法的研究[J].中南林业科技大学自然科学版, 2010, 30(8): 148-154.

[4]王金虎, 李传荣, 周梅.机载全波形激光雷达数据处理及其应用[J].国外带子测量技术, 2012, 31(6): 71-75, 79.