

基于标靶配准的廊道点云数据

曹奇¹, 王宇楠², 王俊杰¹

(¹ 河海大学地球科学与工程学院测绘工程系, 江苏 南京 210098;

² 河海大学港口海岸与近海工程学院港口航道与海岸工程系, 江苏 南京 210098)

摘要 三维激光扫描仪在不同测站获取的点云都是在各自的仪器内部坐标系中, 为了获得扫描对象的完整的点云, 需将各测站扫描的点云要转换到一个统一坐标系中。本文依托大学生创新训练计划项目“地面三维激光扫描数据建模方法研究”, 对学校廊道点云数据进行三维建模, 将各测站扫描的标靶进行中心提取, 并对多测站点云数据进行了行基于标靶的配准。

关键词 标靶配准 多测站点云 坐标系转换

中图分类号: P236

文献标识码: A

文章编号: 1672- 4097(2011)04- 0018- 04

1 前言

数据配准是将两个或两个以上坐标系中的大容量三维空间数据点集转换到统一坐标系统中的数学计算过程。在医学、工业制造、计算机视觉及土木工程应用中, 研究适用于三维激光扫描数据建模的配准方法是十分重要的。现在运用较多的配准方法主要是迭代最近法, 即 ICP 配准方法。它主要用于解决基于自由形态曲面的配准问题, 然而对于廊道这样空间分布较长的模型, 用 ICP 配准往往会出现模型变形、误差较大的问题。针对这样的问题, 本文对廊道的多测站点云数据进行基于标靶的配准, 实验表明基于标靶的配准能够有效解决模型较长而引起的误差分布较大的问题。

2 标靶中心的提取

2.1 平面标靶中心的提取

根据平面标靶反射的特性, 通过选定标靶范围、设定反射强度阈值, 得到筛选出的标靶点云, 然后对人工选取的点云数据取坐标均值, 即为靶心坐标。

国外学者 Licht D. D 和 Stewart M. R 提出三种平面标靶定位方法:

方法一: 在扫描的平面标靶点云中找出具有最强反射的位置, 取其最强反射点为平面标靶的中心。

$$\overset{u}{V}_o = \max(\overset{u}{V}_j, E) \quad (1)$$

方法二: 在扫描的平面标靶点云计算出所有返回信号的辐射中心, 取其辐射中心为平面标靶

中心。

$$\overset{u}{V}_o = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \overset{u}{V}_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (2)$$

方法三: 在扫描的点云数据中取四个最强返回信号, 计算其辐射中心作为平面标靶的中心。

$$\overset{u}{V}_o = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i \overset{u}{V}_i}{\sum_{i=1}^4 E_i} \quad (3)$$

$\overset{u}{V}_o$ 为靶心坐标向量, E_i 为各点的反射强度值。

2.2 球面标靶中心的提取

由于球形靶的立体性使得激光扫描从任何方向入射都只能获取半个球面的点云, 所以可以将问题转化为: 扫描到的一组点云 $(x_i, y_i, z_i), i = 1, 2, 3, \dots, n$, 利用球面拟合的方法求取球心坐标 (x_o, y_o, z_o) 和半径 R_o , 这可以通过间接平差来实现。球面的方程为:

$$R_o = \sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2 + (z_i - z_o)^2} \quad (4)$$

加入半径和球心坐标的初始值和改正数:

$$\begin{aligned} x_o &= x + dx_o & y_o &= y + dy_o \\ z_o &= z + dz_o & R_o &= R + dR_o \end{aligned} \quad (5)$$

对(4)式进行线性化, 泰勒级数展开, 去掉高次项得:

$$\begin{aligned} V_i &= -\sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2 + (z_i - z_o)^2} + R_o \\ &= \frac{x_i - x}{D_i} dx_o + \frac{y_i - y}{D_i} dy_o + \frac{z_i - z}{D_i} dz_o + dR_o - (D_i - R) \end{aligned} \quad (6)$$

其中 D_i 是点 (x_i, y_i, z_i) 到球心 O 点的距离, 即为

$$D_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \quad (7)$$

当获取球标靶 n 个点坐标, 则总的误差方程为:

$$V = A \frac{dX}{n \times 4} - l \quad (8)$$

其中

$$A = \begin{pmatrix} \frac{x_1 - x}{D_1} & \frac{y_1 - y}{D_1} & \frac{z_1 - z}{D_1} & 1 \\ M & M & M & M \\ \frac{x_n - x}{D_n} & \frac{y_n - y}{D_n} & \frac{z_n - z}{D_n} & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$dX = \begin{pmatrix} dx_o \\ dy_o \\ dz_o \\ dR_o \end{pmatrix} \quad l = \begin{pmatrix} D_n - R \\ M \\ D_n - R \end{pmatrix}$$

由于权阵为单位阵, 用间接平差最小二乘法求得参数改正数:

$$dX = (A^T A)^{-1} A^T l \quad (10)$$

则新的参数为:

$$X_o = X + dX \quad X = [x \quad y \quad z \quad R]^T \quad (11)$$

球心的坐标初值取所有扫描点的坐标均值, 半径取扫描数据中任一点到球心距离进行迭代计算直到收敛, 并得到未知参数 $X = [x \quad y \quad z \quad R]^T$ 。由于点云数据易受外界环境(障碍物遮挡、外界抖动)和点云数据分割误差影响, 而粗差对最小二乘法影响较大, 稳健性不强, 所以应对数据进行预先人工处理, 去除异常点, 从而提高提取靶心的定位精度。

3 多站点点云配准的主要算法

在多站扫描获取各站扫描仪坐标系下的点云数据后, 必须要进行点云数据的配准。确定点云模型之间坐标转换需要利用点云上的特征点, 目标配准以标靶作为配准的特征点。为了使标靶落在重叠区域中, 相邻点云集合需有 7.5% ~ 30% 重叠度。假设 P 点 (P_i, Q_i) 落在相邻点云集合各自的空间扫描仪坐标系 $O-XYZ$ (基准坐标系) 和 $o-xyz$ (转换坐标系) 中, 坐标分别为 (X, Y, Z) , (x, y, z) , 则需要解算的参数有 13 个: 旋转矩阵中 9 个方向余弦(实为三个转角构成的方向余弦)、3 个平移参量、1 个尺度因子。

点云配准就是将所有来自两个点云集合同名点 (P_i, Q_i) 满足坐标变换 (R, m, T) , 即:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = mR \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + T \begin{pmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{pmatrix} \quad (12)$$

其中 R 为旋转矩阵, 且为正交矩阵; T 为平移矩阵; m 为模型缩放尺度参数。

由于旋转矩阵正交性质, 可以列出 6 个条件方程, 通过 3 个以上的标靶可以得到 9 个以上的条件方程, 按照附加条件的间接平差可以获得 13 个未知参数的解。具体的配准流程如下:

(1) 首先将第一站和第二站的点云数据进行配准, 得到这两点云间的变换参数 (R_1, T_1, m_1) ;

(2) 利用得到的变换参数 (R_1, T_1, m_1) 将第二扫描站上的点云数据转换至第一个扫描站点云坐标系下;

(3) 利用第二个点云数据与第三站点云数据间的标靶进行配准变换, 将第三站点云数据变换到统一坐标系下(以第一站扫描仪坐标系为基准), 以此类推;

(4) 将各站点云转换到统一的扫描空间辅助坐标系下, 可以得到各扫描站下点云相对于统一扫描辅助坐标系的变换参数 $(R_i, T_i, m_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, L$ 。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = m_n R_n L \left[m_2 R_2 \left[m_1 R_1 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + T_1 \right] + T_2 \right] L + T_n \quad (13)$$

4 实验分析

4.1 点云配准

本实验场地设在某大学科学楼一廊道中, 共设四个测站 Station_1、Station_4、Station_4_1、Station_7。采用 Trimble GX200 扫描仪每站扫描至少 3 个不共线的标靶, 距离控制在 50 m 之内, 确保扫描点云的密度 (2 mm 间隔); 标靶分布均匀, 并且保持每站扫描的点云有一定的重合度, 利于配准精度。测站标靶在廊道中分布图如图 1。

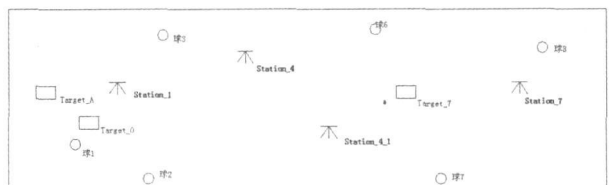


图1 测站和标靶在廊道中的平面分布图

4.2 点云配准

4.2.1 标心提取

由于坐标转换至少需要三个标靶,所以标靶中心的提取很重要。本实验采用与仪器配套的球标靶和平面标靶。为精确拟合靶心坐标,标靶点云数据采取高分辨率扫描,靶心用扫描仪自带的软件 RealWorks 提取。如图 2 为靶心坐标的提取,对 17451 个空间数据点进行拟合,拟合出的靶心坐标为(-6933.72, 10153.58, 524.25) mm。

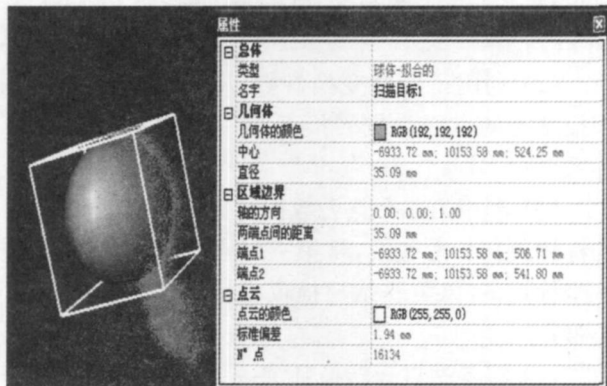


图 2 靶心坐标的提取

本实验以激光扫描仪在 Station 4 测站上扫描到的标靶作为坐标转换的基准,在该测站上设置 9 个标靶,去除重合度较低或距离较远的 2 个标靶,选取 7 个基准标靶进行中心提取,如表 1。

表 1 激光扫描仪扫描的 7 个标靶靶心提取

Station 4	扫描标靶	提取的靶心坐标/mm		
		X	Y	Z
基准站扫描的坐标	标靶球 1	-6725.79	10912.09	519.81
	标靶球 2	-4390.30	10389.59	-1102.00
	标靶球 3	-1910.24	5439.21	513.93
	标靶球 7	8230.64	5439.21	533.86
	标靶球 8	9800.77	5439.21	558.91
	Target_7	13675.17	-26667.75	1.81
	Target_A	-14428.70	27822.33	203.39

4.2.1 基于标靶配准

对各测站标靶中心提取后,选择距离近且精度高的平面和球标靶,对多点云数据进行基于标靶的配准。如图 3,左图为扫描仪在四个测站上扫描的点云,右图进行标靶配准的廊道。

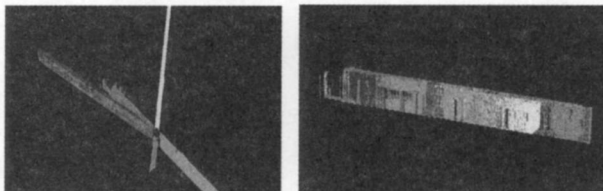


图 3 配准前后廊道点云数据

实验中发现由于有测站中标靶球中心提取不够准确,存在纵向(z 方向)的粗差,经过半自动配准,剔除含有粗差的标靶,选取高精度的标靶中心进行配准。根据为多站点云配准后的残差分布,其中最大残差为 4.08 mm,最小仅为 1.22 mm,能够满足三维建模所要求的精度。

5 结论

三维激光扫描仪在不同测站对同一组标靶扫描,目的是为了使其不同扫描仪坐标系下的对象能配准到同一坐标系下,并在同一坐标系下显示出来。本文详细推导了平面标靶和球形中心提取的算法,具体介绍了基于标靶的多站点云配准的方法,并且用 realworks 建模软件对廊道数据进行了基于标靶的配准。实验表明,标靶中心坐标的提取精度和标靶的合适选择对实现坐标转换至关重要。本文对球形靶用间接平差的方法进行了中心的提取,其中球面方程泰勒展开只用了一次项,但实际上的球形靶点云数据是非线性的,对非线性点云数据中心提取还是一个比较复杂的问题,还需要多方面的研究。

参考文献

- 1 郑德华. ICP 算法及其在建筑物扫描点云数据配准中的应用[J]. 测绘科学, 2007(2): 32-33, 178.
- 2 谢瑞,胡敏捷,程效军. 三维激光 HDS3000 扫描仪点位精度分析和研究[J]. 遥感信息, 2008(6): 54-58, 85.
- 3 赵煦,周克勤,闫利. 基于激光点云的大型文物景观三维重建方法[J]. 武汉大学学报, 2008(7): 28-31.
- 4 朱凌. 地面三维激光扫描标靶研究. 激光杂志, 2008, 29(1): 33-35.
- 5 谢瑞,程效军,张鸿飞. 大型建筑多测站点云数据配准研究[J]. 工程勘察, 2010(9): 62-65.
- 6 官云兰,等. 一种稳健的地面激光扫描标靶球定位方法[J]. 工程勘察, 2008(10): 45-48, 52.

Match Accurate Gallery Cloud Data Owing to Being Labeled with A Target

CAO Qi¹, WANG Yutan², WANG Junjie¹

(¹ School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098, China;

² College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Nanjing Jiangsu 210098, China)

Abstract That three dimensional laser scanning measures the capital of cloud that the station gains in diversity is in respective instrument inside coordinate system, in saying that the cloud needing measuring station scanning with every needs to change to a unified coordinate system for the entire point gaining scanning marriage partner. Backing college student FOAK trains the main body of a book to plan three dimensional project “floor laser scanning data modeling method studying”, the gallery says that the data carries out 3 D building a model to school, the pinwheel carrying out a bid on the target measuring station scanning respectively draws, and being qualified for saying that the data is in progress the target based to measuring a station much allows.

Key words the bid target matches certainty; measure station cloud more than normal; coordinate system changes

(上接第4页)

4 结束语

海岛(礁)地形特殊,一般中间地势高,海岸线曲折,全站仪测量只能在通视范围内作业,且需要多个控制点以方便架设全站仪才能完成全岛(礁)的岸线测量任务。GPS RTK 定位技术其流动站与基准站之间无需通视而且只需设立一个基站点,流动站便可实时动态快速测出空间任意一点的三维坐标,定位精度可达厘米级,操作容易,数据自动存贮,测量时间短。实验证明 GPS RTK 在作业方式和定位精度上都充分体现了其优越性和可行性,是一种高效的海岛(礁)地形测量技术。

参考文献

- 1 赵建虎. 现代海洋测绘[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007.
- 2 黄张裕, 魏浩瀚, 刘学求. 海洋测绘[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- 3 国家技术监督局. GB12327-1998 海道测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- 4 徐绍铨, 张华海, 杨志强, 等. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.
- 5 韩凌云, 杨英力. 地形图于海图拼接的矛盾问题及其处理[J]. 海洋测绘, 2003(4): 37-39.

Application of GPS RTK to Islands Survey

LI Dong-sheng^{1,2}, HUANG Teng¹, LIU Wei-dong¹, CHEN Dong³

(¹ School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098, China;

² Unit 91561 of PLA, Guangzhou Guangdong 510320, China;

³ Unit 91100 of PLA, Shanghai 200940, China)

Abstract This paper briefly introduces the principle of islands surveying by GPS RTK. According to the island terrain's characteristics, it explores and practices the concrete islands GPS RTK surveying methods and steps, then assesses the survey data for GPS RTK accuracy through making use of total station about mm precision class, proves that GPS RTK precision can satisfy the quest of the islands terrain survey.

Key words GPS RTK; islands survey; accuracy