

一种多站标靶点云整体配准算法

杨荣华¹ 吕美英² 花向红³

1 重庆大学土木工程学院,四川 重庆,400030

2 重庆师范大学数学学院,四川 重庆,400047

3 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079

摘要:针对普通多站标靶点云配准方法需进行基于传统测量设备的控制测量问题,提出了一种新的多站标靶点云配准方法。该方法使用三维激光扫描仪和卷尺同时完成点云数据的采集和控制测量外业工作,并将经典测边网平差理论引入到多站标靶点云配准领域,给出了相应误差方程的构建方法。实验结果不仅表明了该方法的有效性,而且证明了三维激光扫描技术应用于控制测量的可行性。

关键词:地面三维激光扫描;多站点云配准;测边网;标靶

中图法分类号:P228.41

文献标志码:A

由于扫描仪的性能、测站位置、作业范围、周边环境等因素的影响,目标表面的完整信息往往需多站扫描才能完整获得,而各站扫描点云的坐标系一般相互独立,使用前须将其配准到同一坐标系下,因此,多站点云配准一直是点云数据处理的热点问题^[1-7]。但上述整体配准算法目前还无法完全解决标靶多站点云整体配准的问题,点云配准精度评价方面还没有一套成熟的理论。由于测边网平差理论在传统测量数据处理中应用广泛,且在数据处理、精度评价、程序实现等方面都比较成熟,因此,利用测边网平差原理解决多站标靶点云配准具有重要价值。基于此,本文将测边网平差理论引入到多站标靶点云整体配准领域,并根据标靶点云配准的特点,给出了高程约束条件,同时通过实例说明了算法的可行性。

1 点云配准原理

1.1 刚体变换模型

设空间任意点 p 在 $i+1$ 系和 i 系中的坐标分别为 $(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ 和 (x_i, y_i, z_i) , 则两系刚体变换模型为:

$$\begin{bmatrix} x_i & y_i & z_i \end{bmatrix}^T = \mathbf{R}_{i+1} \begin{bmatrix} x_{i+1} & y_{i+1} & z_{i+1} \end{bmatrix}^T + \mathbf{T}_{i+1} \quad (1)$$

式中, \mathbf{R}_{i+1} 为旋转矩阵; \mathbf{T}_{i+1} 为平移矩阵, 它们的

值可由文献[8]中的算法求解。

1.2 两站点云配准^[8]

1) 设 $i+1$ 系和 i 系共有 m 对同名点, 同名点坐标分别为 $(x_{i+1,j}, y_{i+1,j}, z_{i+1,j})$ 和 $(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}), j=1, 2, \dots, m$, 对两系同名点进行重心化, 其 i 系重心化后的坐标如下 ($i+1$ 系同):

$$\begin{cases} x_{i,j}^c = x_{i,j} - \sum_{j=1}^m x_{i,j} / m \\ y_{i,j}^c = y_{i,j} - \sum_{j=1}^m y_{i,j} / m \\ z_{i,j}^c = z_{i,j} - \sum_{j=1}^m z_{i,j} / m \end{cases} \quad (2)$$

2) 由罗德里格矩阵性质可得观测方程:

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{L} \quad (3)$$

$$\text{式中, } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & -sz_1 & sy_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & -sz_m & sy_m \\ sz_1 & 0 & -sx_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ sz_m & 0 & -sx_m \\ -sy_1 & sx_1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -sy_m & sx_m & 0 \end{bmatrix}; \mathbf{L} = \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \vdots \\ \Delta x_m \\ \Delta y_1 \\ \vdots \\ \Delta y_m \\ \Delta z_1 \\ \vdots \\ \Delta z_m \end{bmatrix};$$

$$sx = x_{i,1}^c + x_{i+1,1}^c; sy = y_{i,1}^c + y_{i+1,1}^c; sz = z_{i,1}^c + z_{i+1,1}^c; \Delta x = x_{i,1}^c - x_{i+1,1}^c; \Delta y = y_{i,1}^c - y_{i+1,1}^c; \Delta z = z_{i,1}^c - z_{i+1,1}^c$$

收稿日期:2013-04-07

项目来源:中央高校基本科研业务费资助项目(0218005208005.0903005203182);国家自然科学基金资助项目(41174010)。

第一作者:杨荣华,博士。主要从事测量数据处理理论及其应用研究。E-mail: rh_yang@cqu.edu.cn

$z_{i,1}^c - z_{i+1,1}^c$ 。

3) 由最小二乘可得:

$$\mathbf{x} = [a \ b \ c]^T = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{L}$$

则

$$\mathbf{R}_{i+1} = \frac{1}{1 + \mathbf{x}^T \mathbf{x}} \begin{bmatrix} 1 + a^2 - b^2 - c^2 & 2(c + ab) & 2(ac - b) \\ 2(ab - c) & 1 - a^2 + b^2 - c^2 & 2(a + bc) \\ 2(b + ac) & 2(bc - a) & 1 - a^2 - b^2 + c^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T}_{i+1} = \frac{1}{m} \left(\begin{bmatrix} \sum_{j=1}^m x_{i,j} & \sum_{j=1}^m y_{i,j} & \sum_{j=1}^m z_{i,j} \end{bmatrix}^T - \right.$$

$$\left. \mathbf{R}_{i+1} \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^m x_{i+1,j} & \sum_{j=1}^m y_{i+1,j} & \sum_{j=1}^m z_{i+1,j} \end{bmatrix}^T \right)$$

2 点云配准原理

2.1 多站标靶点云整体配准的一般思路^[4-5,9]

首先建立扫描区的工程控制网,通过全站仪、水准仪等方法获取各控制点的工程系坐标(X, Y, H);接着将扫描区分成若干个子区,保证各子区含有3个以上的控制点,并在子区控制点上布设标靶,测靶心高 h ,从而得靶心坐标($X, Y, H + h$);然后在扫描各子区物体的同时,精扫该子区内的标靶,通过软件获得各标靶靶心在扫描系中的坐标(x, y, z);最后利用式(1)构建扫描系与工程系的配准方程,并由§1.2中的算法计算两系配准参数。

2.2 多站标靶点云配准的新方案

上述配准算法思路简单,精度高,且不存在多站点云配准误差的积累问题,因此,被多站标靶点云配准广泛采用,但此方案需使用除扫描仪外的其他仪器进行控制测量,不仅增加了外业观测控制点的工作,而且没能最大限度地发挥三维激光扫描技术的优势。针对此问题,本文提出了一种新的多站标靶点云配准方案。首先布设控制点,在各控制点上放置标靶,量取标靶高 h (若控制点设在墙面、楼顶等无需移动的地方,则无需量其靶高);然后对目标进行多站扫描,同时对各站中的标靶进行精扫,获取标靶靶心的扫描系坐标;最后

$$\mathbf{A}_{j,p} = \begin{bmatrix} \frac{X_{m_{j,p}}^0 - X_{m_{j,q}}^0}{S_{j,p,q}^0} & \frac{Y_{m_{j,p}}^0 - Y_{m_{j,q}}^0}{S_{j,p,q}^0} & \frac{Z_{m_{j,p}}^0 - Z_{m_{j,q}}^0}{S_{j,p,q}^0} \end{bmatrix} = -\mathbf{A}_{j,q} \quad (9)$$

$$S_{j,p,q}^0 = \sqrt{(X_{m_{j,p}}^0 - X_{m_{j,q}}^0)^2 + (Y_{m_{j,p}}^0 - Y_{m_{j,q}}^0)^2 + (H_{m_{j,p}}^0 + h_{j,p} - H_{m_{j,q}}^0 - h_{j,q})^2} \quad (10)$$

将式(7)中的标靶 $m_{j,q}$ 换成扫描中心 s ,得标靶与扫描中心的边长误差方程为:

$$v_{j,p,s} = \mathbf{A}_{j,p} \mathbf{X}_{j,p} + \mathbf{A}_{j,s} \mathbf{X}_{j,s} - l_{j,p,s} \quad (11)$$

利用测边网平差原理和靶心坐标观测值构建多站标靶点云整体配准误差方程,同时求解出未知控制点的工程系坐标及各站配准参数。

该配准方案只需利用三维激光扫描仪就能完成数据采集及数据整体配准工作,而引入已有的测边网平差理论使得算法实现相对简单。另外,该方法将三维激光扫描技术应用用于控制测量,扩展了其应用范围。

2.3 标靶多站点云配准新方法中的误差方程

上述标靶多站点云配准方法中的关键问题是利用靶心坐标观测值构建误差方程,其方法如下:设整个扫描区布设了 N 个控制点(包含 d 个已知点),控制点 i 的工程系坐标为(X_i, Y_i, H_i),扫描区分成 n 个子区,第 $j(1, 2, \dots, n)$ 子区含 m_j 个控制点(包含 d_j 个已知点),第 j 子区内第 i 个控制点记为 $m_{j,i}$,该点处标靶的靶心高为 $h_{j,i}$,其工程系和扫描系坐标记为($X_{m_{j,i}}, Y_{m_{j,i}}, Z_{m_{j,i}}$)和($x_{m_{j,i}}, y_{m_{j,i}}, z_{m_{j,i}}$),该区扫描仪中心(s)的工程系坐标为($X_{j,s}, Y_{j,s}, Z_{j,s}$),则第 j 子区中标靶 $m_{j,p}$ 与标靶 $m_{j,q}$ 之间的距离观测方程可表示为:

$$[(X_{m_{j,p}} - X_{m_{j,q}})^2 + (Y_{m_{j,p}} - Y_{m_{j,q}})^2 + (H_{m_{j,p}} + h_{j,p} - H_{m_{j,q}} - h_{j,q})^2]^{1/2} = \tilde{L}_{j,p,q} \quad (4)$$

式中,

$$\begin{cases} X_{m_{j,p}} = X_{m_{j,p}}^0 + \hat{x}_{m_{j,p}} \\ Y_{m_{j,p}} = Y_{m_{j,p}}^0 + \hat{y}_{m_{j,p}} \\ H_{m_{j,p}} = H_{m_{j,p}}^0 + \hat{h}_{m_{j,p}} \end{cases}, \begin{cases} X_{m_{j,q}} = X_{m_{j,q}}^0 + \hat{x}_{m_{j,q}} \\ Y_{m_{j,q}} = Y_{m_{j,q}}^0 + \hat{y}_{m_{j,q}} \\ H_{m_{j,q}} = H_{m_{j,q}}^0 + \hat{h}_{m_{j,q}} \end{cases} \quad (5)$$

$$\tilde{L}_{j,p,q} = L_{j,p,q} + v_{j,p,q}$$

$$L_{j,p,q} =$$

$$\sqrt{(x_{m_{j,p}} - x_{m_{j,q}})^2 + (y_{m_{j,p}} - y_{m_{j,q}})^2 + (z_{m_{j,p}} - z_{m_{j,q}})^2} \quad (6)$$

按泰勒公式展开式(4),得标靶 $m_{j,p}$ 与标靶 $m_{j,q}$ 的边长误差方程^[10]为:

$$v_{j,p,q} = \mathbf{A}_{j,p} \mathbf{X}_{j,p} + \mathbf{A}_{j,q} \mathbf{X}_{j,q} - l_{j,p,q} \quad (7)$$

式中,

$$\begin{cases} \mathbf{X}_{j,p} = [\hat{x}_{m_{j,p}} \ \hat{y}_{m_{j,p}} \ \hat{h}_{m_{j,p}}]^T \\ \mathbf{X}_{j,q} = [\hat{x}_{m_{j,q}} \ \hat{y}_{m_{j,q}} \ \hat{h}_{m_{j,q}}]^T \\ l_{j,p,q} = L_{j,p,q} - S_{j,p,q}^0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mathbf{A}_{j,p} = \begin{bmatrix} \frac{X_{m_{j,p}}^0 - X_{m_{j,q}}^0}{S_{j,p,q}^0} & \frac{Y_{m_{j,p}}^0 - Y_{m_{j,q}}^0}{S_{j,p,q}^0} & \frac{Z_{m_{j,p}}^0 - Z_{m_{j,q}}^0}{S_{j,p,q}^0} \end{bmatrix} = -\mathbf{A}_{j,q} \quad (9)$$

$$S_{j,p,q}^0 = \sqrt{(X_{m_{j,p}}^0 - X_{m_{j,q}}^0)^2 + (Y_{m_{j,p}}^0 - Y_{m_{j,q}}^0)^2 + (H_{m_{j,p}}^0 + h_{j,p} - H_{m_{j,q}}^0 - h_{j,q})^2} \quad (10)$$

将式(7)中的标靶 $m_{j,q}$ 换成扫描中心 s ,得标靶与扫描中心的边长误差方程为:

$$v_{j,p,s} = \mathbf{A}_{j,p} \mathbf{X}_{j,p} + \mathbf{A}_{j,s} \mathbf{X}_{j,s} - l_{j,p,s} \quad (11)$$

$$\begin{cases} \mathbf{X}_{j,s} = [\hat{x}_{m_{j,s}} \ \hat{y}_{m_{j,s}} \ \hat{h}_{m_{j,s}}]^T \\ l_{j,p,s} = L_{j,p,s} - S_{j,p,s}^0 \end{cases} \quad (12)$$

$$A_{j,p} = \begin{bmatrix} \frac{X_{m_{j,p}}^0 - X_{m_{j,s}}^0}{S_{j,p,s}^0} & \frac{Y_{m_{j,p}}^0 - Y_{m_{j,s}}^0}{S_{j,p,s}^0} & \frac{Z_{m_{j,p}}^0 - Z_{m_{j,s}}^0}{S_{j,p,s}^0} \end{bmatrix} = -A_{j,s} \tag{13}$$

$$S_{j,p,s}^0 = \sqrt{(X_{m_{j,p}}^0 - X_{m_{j,s}}^0)^2 + (Y_{m_{j,p}}^0 - Y_{m_{j,s}}^0)^2 + (H_{m_{j,p}}^0 + h_{j,p} - H_{m_{j,s}}^0)^2} \tag{14}$$

$$L_{j,p,s} = \sqrt{(x_{m_{j,p}} - x_{m_{j,s}})^2 + (y_{m_{j,p}} - y_{m_{j,s}})^2 + (z_{m_{j,p}} - z_{m_{j,s}})^2} \tag{15}$$

式(7)和式(11)为标靶多站点云配准误差方程的一般形式,实际使用时还需考虑如下的具体情况:

1) 若测边两端点均为标靶,且两标靶所在的控制点均为待定点,则式(7)为该边的误差方程。

2) 若测边两端点均为标靶,且至少有一个标靶在已知点上,则当标靶 $m_{j,p}$ 在已知点上时,该边的误差方程为:

$$v_{j,p,q} = A_{j,q}X_{j,q} - l_{j,p,q} \tag{16}$$

当标靶 $m_{j,q}$ 在已知点上时,该边的误差方程为:

$$v_{j,p,q} = A_{j,p}X_{j,p} - l_{j,p,q} \tag{17}$$

当标靶 $m_{j,p}$ 和 $m_{j,q}$ 都在已知点上时,该边为已知边,无误差方程。

3) 若测边两端点为标靶和扫描仪中心,且标靶所在的控制点为待定点,则式(11)为该边的误差方程。

4) 若测边两端点为标靶和扫描仪中心,且标靶所在的控制点为已知点,则该边的误差方程为:

$$v_{j,p,s} = A_{j,s}X_{j,s} - l_{j,p,s} \tag{18}$$

由于卷尺只能测标靶的斜高,靶心高与控制点高完全相关,标靶与扫描仪中心的高差一般不大,高程方向的几何强度远低于平面方向的几何强度,使得求解出的控制点坐标平面方向的精度高于高程方向的精度。为改善高程方向的精度,本文增加了高程方向的约束条件,具体如下:设第 j 站扫描系的 x 、 y 、 z 轴正向与工程系 H 轴正向夹角的余弦分别为 $c_{j,x}$ 、 $c_{j,y}$ 、 $c_{j,z}$,则第 j 站扫描的标靶 $m_{j,p}$ 与仪器中心 s 之间的高差为:

$$c_{j,x}x_{m_{j,p}} + c_{j,y}y_{m_{j,p}} + c_{j,z}z_{m_{j,p}} = (H_{m_{j,p}}^0 + h_{j,p} + \hat{h}_{m_{j,p}}) - (H_{m_{j,s}}^0 + \hat{h}_{m_{j,s}}) \tag{19}$$

设 $c_{j,x} = c_{j,x}^0 + \hat{c}_{j,x}$, $c_{j,y} = c_{j,y}^0 + \hat{c}_{j,y}$, $c_{j,z} = c_{j,z}^0 + \hat{c}_{j,z}$,在忽略二次项改正数的条件下,由式(19)和约束条件 $c_{j,x}^2 + c_{j,y}^2 + c_{j,z}^2 = 1$,得标靶在已知点或未知点上的误差方程为:

$$X = [\hat{x}_1 \ \hat{y}_1 \ \hat{z}_1 \ \cdots \ \hat{z}_N \ \hat{x}_{1,s} \ \hat{y}_{1,s} \ \hat{z}_{1,s} \ \cdots \ \hat{z}_{n,s} \ \hat{c}_{1,x} \ \hat{c}_{1,y} \ \hat{c}_{1,z} \ \cdots \ \hat{c}_{n,z}]^T$$

采用最小二乘平差求解式(25),即可得未知控制点的平差坐标、各站扫描系平移矩阵(扫描仪中心平差坐标)、各站扫描系与工程系转换的旋转矩阵(由控制点平差坐标和 § 1.2 中的计算方法求解)。值得注意的是,在上述误差方程构建过程中,各参数的初值确定均采用测边交会法,由已知

$$v_{j,h,s} = A_{j,h,s}X_{j,h,s} - l_{j,h,p,s}$$

$$\text{或 } v_{j,h,p,s} = A_{j,h,p,s}X_{j,h,p,s} - l_{j,h,p,s} \tag{20}$$

$$v_{j,c} = A_{j,c}X_{j,c} - l_{j,c} \tag{21}$$

式中,

$$\begin{cases} X_{j,h,s} = [\hat{h}_{m_{j,s}} \ \hat{c}_{j,x} \ \hat{c}_{j,y} \ \hat{c}_{j,z}]^T \\ X_{j,h,p,s} = [\hat{h}_{m_{j,p}} \ \hat{h}_{m_{j,s}} \ \hat{c}_{j,x} \ \hat{c}_{j,y}]^T \\ X_{j,c} = [\hat{c}_{j,x} \ \hat{c}_{j,y} \ \hat{c}_{j,z}]^T \end{cases} \tag{22}$$

$$\begin{cases} A_{j,h,s} = [-1 \ -x_{m_{j,p}} \ -y_{m_{j,p}} \ -z_{m_{j,p}}] \\ A_{j,h,p,s} = [1 \ -1 \ -x_{m_{j,p}} \ -y_{m_{j,p}} \ -z_{m_{j,p}}] \\ A_{j,c} = [2c_{j,x}^0 \ 2c_{j,y}^0 \ 2c_{j,z}^0] \end{cases} \tag{23}$$

$$\begin{cases} l_{j,h,p,s} = x_{m_{j,p}}c_{j,x}^0 + y_{m_{j,p}}c_{j,y}^0 + z_{m_{j,p}}c_{j,z}^0 + H_{m_{j,s}}^0 - H_{m_{j,p}}^0 - h_{j,p} \\ l_{j,c} = 1 - (c_{j,x}^0)^2 - (c_{j,y}^0)^2 - (c_{j,z}^0)^2 \end{cases} \tag{24}$$

对第 j 子区来说,由式(7)、式(16)和式(17)

可得两端均为标靶的测边误差方程 $\frac{m_j(m_j-1)}{2}$ -

$\frac{d_j(d_j-1)}{2}$ 个,由式(12)、式(18)可得测边两端点

为标靶和扫描仪中心的测边误差方程 m_j 个,由式(20)、式(21)可得 m_j+1 个高程约束方程,则 n

个扫描站总共可得 $M = \sum_j [\frac{m_j(m_j-1)}{2} -$

$\frac{d_j(d_j-1)}{2} + 2m_j + 1]$ 个误差方程,即

$$V = AX - L \tag{25}$$

式中, A 为 $M \times (3N-3d+6n)$ 阶矩阵,由系数阵 $A_{j,p}$ 、 $A_{j,q}$ 、 $A_{j,s}$ 、 $A_{j,h,s}$ 、 $A_{j,h,p,s}$ 、 $A_{j,c}$ 构成; L 为 $M \times 1$ 阶矩阵,由系数阵 $l_{j,p,q}$ 、 $l_{j,p,s}$ 、 $l_{j,h,p,s}$ 、 $l_{j,c}$ 构成; X 为 $(3N-3d+6n) \times 1$ 阶矩阵,由 $3(N-d)$ 个未知点坐标参数、 $3n$ 个扫描中心坐标参数、 $3n$ 个扫描系 x 、 y 、 z 轴与工程系 H 轴的夹角余弦参数构成,其具体表达式为:

点推导获得。

3 实例分析

对武汉大学测绘校区友谊广场的“空中之舞”雕塑进行扫描实验,控制测量由 TCRP1201 全站

仪和 DNA03 数字水准仪完成,雕塑点云数据和标靶点云数据采用 Riegl VZ-400 地面三维激光扫描系统获取,标靶为觐牌的反射片,标靶和棱镜共旋转轴,靶心的高度采用卷尺量斜高后换算得到,其中全站仪测距精度为 $2\text{ mm} + 2 \times 10^{-6}$,测角精度为 $1''$,水准仪观测精度为 0.3 mm ,扫描仪测距精度为 $5\text{ mm}@50\text{ m}$,测角精度为 $1.8''$ 。具体实验过程如下。

1) 布设如图 1 所示的控制网,采用全站仪和水准仪完成控制测量,并利用科傻平差软件处理所测数据,同时将平差结果转换为右手系(工程系一般为左手系,扫描系为右手系),并量测不同时段控制点上标靶的靶心高,其结果如表 1 所示。

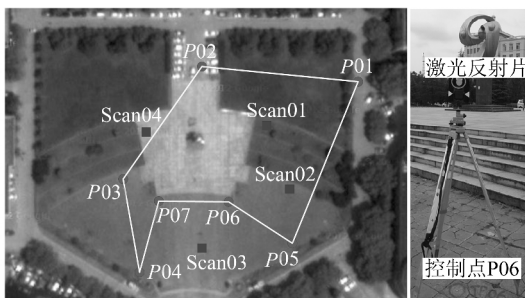


图 1 控制点分布示意图

Fig. 1 Control Point Distribution Schematic Graph

表 1 控制点坐标及靶心高/m

Tab. 1 Coordinates of Control Points and the Clouts' Heights/m

点号	控制点工程系真实坐标			靶心高			
	X	Y	H	1站	2站	3站	4站
P01	500.000	500.000	100.000	1.695 1	1.492 8		
P02	461.213	461.213	100.117	1.653 1	1.583 4		1.584 4
P03	474.730	415.281	99.620				1.637 5
P04	506.221	402.672	99.437			1.620 0	1.573 4
P05	529.409	449.212	99.525	1.625 5	1.658 6	1.664 6	
P06	504.842	442.289	99.564	1.609 0	1.623 5	1.624 0	1.522 3
P07	488.999	420.858	99.567	1.575 5		1.527 9	1.535 4

2) 布设如图 1 所示的 4 个扫描站,完成雕像和标靶扫描工作,并用 Riscan Pro 软件提取靶心坐标,先按 § 2.2 中的方法构建误差方程,解求未知数,然后按 § 1.2 中的方法计算旋转参数,其结果如表 2 所示。

采用 § 2.1 中方法求得的坐标差最大为 6 mm ,此项误差主要由扫描误差、反射片厚度及安置误差、靶心高量测误差等组成,由于测边误差的大小可简单等于其端点误差的 $\sqrt{2}$ 倍,而且在 50 m 距离时扫描仪测距误差为 5 mm ,因此,可规定点云配准结果与真值相差 9 mm 以内时,认为新的多站标靶点云配准精度与 § 2.1 的配准精度一致。由表 2 可以看出,本文提出的配准方法所计

算的坐标值与真值最大差为 9 mm ,可认为本文配准方法与传统配准方法精度一致。另外,如果忽略 § 2.2 配准算法中的高程约束条件,配准结果与真值的最大坐标差将达 20 mm ,严重偏离真值,因此,增加高程约束条件很有必要。

表 2 多站标靶点云整体配准结果与真值之差

Tab. 2 Comparison of the True Values and the Results Calculated by the Proposed Registration Algorithm

点号	坐标差/mm			旋转矩阵 $\Delta R/10^{-5}$	平移矩阵 $\Delta T/\text{mm}$	
	Δx	Δy	Δz			
P01	0	-3	-2			
第 1 站	P02	-1	2	2	$\begin{bmatrix} 2 & -0.2 & -0.1 \\ 0.3 & -2 & -6.3 \\ 6.8 & 4.2 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 7 \end{bmatrix}$
	P05	-4	5	-2		
	P06	1	0	-5		
	P07	-5	0	-6		
第 2 站	P01	0	0	5	$\begin{bmatrix} 0.4 & 1.7 & 6 \\ -1.7 & 0.4 & 5 \\ -4.9 & 7.2 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix}$
	P02	-2	1	6		
	P05	-3	1	2		
	P06	-1	2	0		
第 3 站	P04	-4	3	6	$\begin{bmatrix} 1.7 & -0.4 & 2.5 \\ 0.4 & 1.6 & 0 \\ -0.6 & -2.5 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -4 \\ 1 \\ 6 \end{bmatrix}$
	P05	-8	-2	7		
	P06	-6	1	5		
	P07	1	3	9		
第 4 站	P02	0	2	4	$\begin{bmatrix} 2 & -1 & 8.6 \\ 1 & 0.2 & 5.4 \\ -0.9 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 4 \end{bmatrix}$
	P03	4	1	3		
	P04	-5	-1	5		
	P06	-3	2	-1		
P07	-1	2	1			

4 结 语

多站标靶点云整体配准一直是点云数据处理领域研究的热点问题,本文将经典测边网平差理论引入多站标靶点云整体配准领域,通过标靶点云提取的靶心坐标数据构建边长误差方程,通过高程约束条件构建各扫描站的高程约束误差方程,同时求解出扫描区控制网坐标参数和扫描系配准参数,实现点云整体配准。实验验证了该方法的有效性,同时也证明了三维激光扫描仪应用于控制测量的可行性。但本文实验结果精度仍偏低,还需进一步研究相关的点云精度评价模型及其改进方法。

参 考 文 献

- [1] Gagnon H, Soucy M, Bergevin R, et al. Registration of Multiple Range Views for Automatic 3-D Model Building[C]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Seattle, Washington D C, 1994
- [2] Huber D F, Hebert M. Fully Automatic Registra-

- tion of Multiple 3D Data Sets[J]. *Image and Vision Computing*, 2003, 21(7):637-650
- [3] Sharp G C S, Lee W, Wehe D K. Multiview Registration of 3D Scenes by Minimizing Error Between Coordinate Frames[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2004, 26(8):1 037-1 050
- [4] Cai Runbin. Registration of Range Images and Planar Regions Extraction from TLS Points Cloud[D]. Shanghai: Tongji University, 2008(蔡润彬. 地面激光扫描数据后处理若干关键技术研究[D]. 上海: 同济大学, 2008)
- [5] Guan Yunlan. Some Problems of the Processing of Terrestrial Laser Scanning[D]. Shanghai: Tongji University, 2008(官云兰. 地面三维激光扫描数据处理中的若干问题研究[D]. 上海: 同济大学, 2008)
- [6] Zhang Kai. Research on Spatial Registration for Three-Dimensional Laser Scanning Data[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2008(张凯. 三维激光扫描数据的空间配准研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2008)
- [7] Wang Guoli. Research on Registration of Ground LiDAR Range Images[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2006(王国利. 地面激光雷达距离影像配准研究[D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2006)
- [8] Yao Jili, Han Baomin, Yang Yuanxi. Research on Registration of Ground LiDAR Range Images[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(12):1 094-1 119(姚吉利, 韩保民, 杨元喜. 罗德里格矩阵在三维坐标转换严密解算中的应用[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31(12):1 094-1 119)
- [9] Zhang Jianqing, Zhai Ruifang, Zheng Shunyi. Automatic Seamless Registration of 3D Multiple Range Views[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(2):100-103(张剑清, 翟瑞芳, 郑顺义. 激光扫描多三维视图的全自动无缝镶嵌[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(2):100-103)
- [10] School of Geodesy and Geomatics Wuhan University. Error Theory and Foundation of Surveying Adjustment[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003(武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003)

An Algorithm for the Multiview Target Point Cloud Global Registration

YANG Ronghua¹ LV Meiyong² HUA Xianghong³

¹ School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China

² College of Mathematics Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China

³ School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: When the multiview target point clouds were registered by common algorithm, the relevant control survey field work is usually completed by using traditional measuring equipment. Aiming at reducing control survey field work, a new multiview target point cloud registration algorithm is proposed in this paper. In the new algorithm, the point cloud data collection and control survey field work are completed simultaneously using terrestrial laser scanner and tape equipment. The data processing work of registering a multiview target point cloud is accomplished by introducing classical trilateration net adjustment theory and constructing a new error equation. Experimental results not only show the validity of the proposed algorithm, but also prove the feasibility of using terrestrial laser scanner to complete control survey work.

Key words: terrestrial laser scanning; multiview registration; trilateration net; target

First author: YANG Ronghua, PhD, specializes in surveying data processing. E-mail: rh_yang@cqu.edu.cn

Foundation support: The Fundamental Research Funds for the Central Universities, Nos. 0218005208005, 0903005203182; the National Natural Science Foundation of China, No. 41174010.