

文章编号:1671-5942(2014)03-0173-05

一种平面靶心的提取算法^{* 1}

朱宁宁¹⁾ 卢小平¹⁾ 李向阳²⁾ 武永斌³⁾

(1)河南理工大学矿山空间信息技术国家测绘地理信息局重点实验室,焦作 454000
(2)河南省基础地理信息中心,郑州 450003
(3)河南省遥感测绘院,郑州 450003

摘 要 针对目前平面圆形标靶在大角度倾斜或存在数据部分缺失时无法准确提取中心的问题,提出一种边缘拟合算法,即基于回光强度结合边缘点搜索算法自动提取平面标靶的圆形边界,然后对边界点进行拟合用于确定标靶中心。实验表明,该方法简单易行,在工作条件较好时提取精度与仪器自带软件提取值一致;当存在大角度倾斜或数据缺失时,该方法仍可以准确提取出标靶中心的坐标。

关键词 地面激光扫描;平面标靶;边缘点搜索;拟合中心

中图分类号:P225.2 **文献标识码:**A

A NEW ALGORITHM EXTRACTING PLANAR TARGET CENTER

Zhu Ningning¹⁾, Lu Xiaoping¹⁾, Li Xiangyang²⁾ and Wu Yongbin³⁾

(1)Key Laboratory of Mine Spatial Information Technologies, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000
(2)Henan Geomatics Center, Zhengzhou 450003
(3)Henan Remotesensing and Mapping Institute, Zhengzhou 450003

Abstract In the case of big inclination angle, traditional methods extracting the center of circular planar target in TLS do not work and a part of data will miss. A new algorithm based on edge fitting is proposed. The first step is to extract automatically edge points of circular plane target, The second step is to fitt spatial circle by edge points and determine the center of the target. Experimental results show that this algorithm is simple and feasible, the extracting accuracy is consistent with that by software in suitable conditions; In the case of big inclination angle or missing data, this algorithm can also determine accurately the coordinates of target center.

Key words: TLS; planar targe; edge points searching; center fitting

标靶主要用于三维激光扫描仪各测站之间点云数据的拼接与坐标系统转换,可分为平面标靶和球形标靶^[1]。平面标靶中心的自动提取^[2]均是基于平面标靶中心是反射强度最大点这一假设,但实际中激光容易在目标中心附近形成多重反射效应,反射强度中心的数据容易受噪声污染。简单平均法、maxrad 法、maxrad4 法、加权平均法、fuzzypos 法、

gridrad 法等^[3]在倾斜扫描时均有一定的局限性,很难保证激光发射中心与平面标靶中心的连线与标靶平面完全垂直,使标靶中心存在偏差^[4-6]。当标靶数据因遮挡等原因有部分缺失时,采用以上算法求得的目标中心偏差会更大^[7-8]。

本文提出一种基于标靶自身几何性质的边缘拟合算法,即通过搜索标靶圆形边界点拟合出标靶中心,避

* 收稿日期:2013-11-25

作者简介:朱宁宁,男,1988 年生,硕士研究生,研究方向为摄影测量与遥感。E-mail:510786168@qq.com。

免了重心化算法因点云密度不均引起的中心偏移问题,且该算法在部分标靶点数据缺失情况下仍然可用。

1 边缘拟合算法

边缘拟合算法是利用标靶反射率与周围地物反射率之间的差异^[4],通过设定的最佳阈值来剔除噪声点并拟合出标靶所在的平面。在标靶平面内,由于材质不同,回光强度有明显差别,据此可将标靶中的圆形区域分割出来。对每个圆形分割区域搜索距离每个点最远的某个点,并拟合出标靶的圆形边界线,进而得到标靶中心的坐标值,如图1所示。

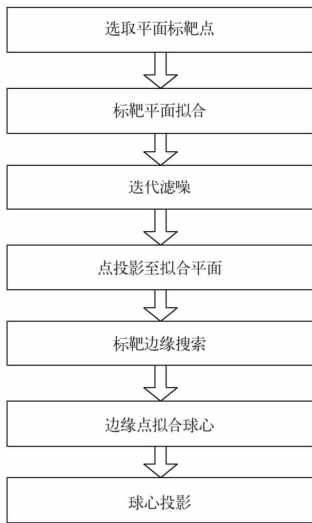


图1 边缘搜索算法流程图

Fig.1 Flow chart of edge searching

1.1 平面拟合

根据最小二乘原理拟合标靶平面,然后计算每个点到该平面的距离 L_i 及拟合中误差 δ :

$$L_i = \frac{|ax_i + by_i + cz_i + 1|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n L_i^2} \quad (2)$$

设阈值为 2δ ,若 $L_i \geq 2\delta$,则将点 (x_i, y_i, z_i) 视为噪声点滤除。对滤噪后的标靶点云再次拟合平面,迭代滤噪,直到所有点位都满足要求,拟合出最终的标靶平面。

1.2 点投影至拟合平面

由于扫描误差的影响,平面标靶上的所有扫描点并未严格分布在同一空间平面上。为改正扫描误差,将迭代后获得的拟合平面视作真实的标靶平面,将滤噪后的点云投影至该平面,可得到校正后的平面标靶点。迭代后的平面方程为:

$$ax + by + cz + 1 = 0 \quad (3)$$

标靶点到拟合平面的距离 L'_i (含方向)为:

$$L'_i = \frac{ax_i + by_i + cz_i + 1}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (4)$$

投影后的标靶点坐标 $\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$ 为:

$$\begin{cases} \bar{x}_i = x_i - L'_i \frac{a}{a^2 + b^2 + c^2} \\ \bar{y}_i = y_i - L'_i \frac{b}{a^2 + b^2 + c^2} \\ \bar{z}_i = z_i - L'_i \frac{c}{a^2 + b^2 + c^2} \end{cases} \quad (5)$$

1.3 搜索边缘点

通过逐点最远距离搜索来实现边缘点的精提取,即先指定一点,然后从标靶平面点中找出距离此点最远的点,逐点进行搜索,直到所有的点都搜索完毕,得到边界点的集合 Φ :

$$\Phi \{ p_i(x_i^{(2)} y_i^{(2)} z_i^{(2)}) \} = \text{for}(i = 1:n) \max \{ \text{for}(j = 1:n) | (x_j^{(1)} x_i^{(1)})^2 + (y_j^{(1)} y_i^{(1)})^2 + (z_j^{(1)} z_i^{(1)})^2 | \} \quad (6)$$

式中, $(x_i^{(1)} y_i^{(1)} z_i^{(1)})$ 、 $(x_j^{(1)} y_j^{(1)} z_j^{(1)})$ 为标靶点位坐标, $p_i(x_i^{(2)} y_i^{(2)} z_i^{(2)})$ 为搜索后的边缘点坐标。

从第一点开始,直至最后一点,可逐步搜索出最外围边缘点。图2展示了不同情况下的边缘搜索。

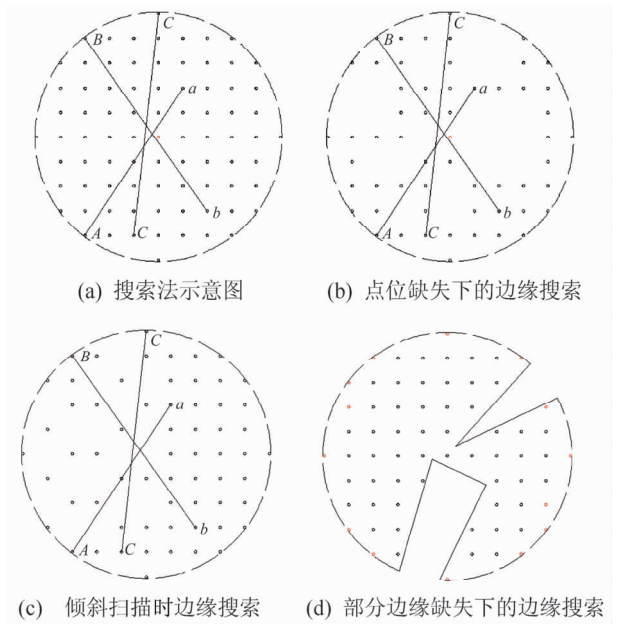


图2 边缘搜索示意图(a-A、b-B、c-C)

Fig.2 Algorithm of edge searching(a-A、b-B、c-C)

该方法采用逐点搜索方式,每一次的搜索都要历尽所有点位,计算量较大。为减少计算量,可先对数据作如下处理:利用式(6),对一部分点搜索最远点,并利用搜索的部分边缘点拟合出标靶的近似中心;然后,根据圆心及圆半径设定适当的阈值,用以滤除标靶圆内部的大部分点;最后,再次使用边缘搜索进行边界点的精提取。平面标靶的近似中心也可通过重心化方法获得:

$$x = \sum_{i=1}^n x_i / n, y = \sum_{i=1}^n y_i / n, z = \sum_{i=1}^n z_i / n \quad (7)$$

式中, (x_i, y_i, z_i) 为标靶点坐标, n 为标靶扫描点数。

1.4 标靶中心提取

基于最小二乘法则,以三维空间边缘点到球心的距离与半径差值的平方和最小为拟合条件,可求出球心的三维坐标。将所求的球心投影至拟合平面,即可得到平面标靶的中心坐标^[9-10]。

1) 标靶边缘点拟合圆球。设圆球方程为:

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = R^2 \quad (8)$$

对未知参数 x, y, z, R 进行变量代换,得:

$$\begin{cases} -2x = a', -2y = b', -2z = c' \\ x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = d' \end{cases} \quad (9)$$

用矩阵表示为:

$$[x_i \ y_i \ z_i \ 1]_{n \times 4} [a' \ b' \ c' \ d']_{4 \times 1}^T = -[x_i^2 + y_i^2 + z_i^2]_{n \times 1} \quad (10)$$

采用最小二乘法平差模型处理,得到:

$$[a' \ b' \ c' \ d']_{4 \times 1}^T = -[x_i \ y_i \ z_i \ 1]_{n \times 4}^T \cdot [x_i^2 + y_i^2 + z_i^2]_{n \times 1} \quad (11)$$

即得球心坐标 $(x \ y \ z)$:

$$x = -a'/2, y = -b'/2, z = -c'/2 \quad (12)$$

2) 将球心坐标 $(x \ y \ z)$ 投影至拟合平面上,得到最终的平面标靶中心坐标(见式(5))。

2 实验结果与分析

实验采用 Riegl VZ-400 三维激光扫描仪对自配的平面标靶进行扫描,通过 MATLAB 和 VC++ 编程实现整个运算过程。平面标靶精扫时的竖直、水平角度分辨率均为 0.005° ,扫描距离为 20 m 左右,并分垂直扫描、倾斜扫描、数据缺失 3 种情况分别论证边缘拟合算法的准确性与可靠性。前两种情况采用平面标靶 I、平面标靶 II 两种标靶进行实验,第三种情况只用平面标靶 II 实验。平面标靶 II 可得到内、外两个边缘点集,可分别拟合出标靶中心,以此提高标靶中心提取的可靠性。

2.1 垂直扫描提取中心精度比较

首先对垂直扫描的情况进行分析,比较边缘拟合算法在较好的扫描环境下与软件自动提取的结果。扫描点云如图 3(a)、3(b)所示,经过标靶点云分割、拟合平面、滤除噪声点、边缘搜索后得到边缘点如图 3(c)、3(d)所示,然后拟合圆球,将球心投影至拟合平面上。不同方法提取的中心坐标如表 1 所示。

由表 1 可知,边缘拟合算法在垂直扫描时与重心化法、配套软件解算的标靶中心坐标互差均在 3 mm 以内,可认为 3 种方法在垂直扫描时的解算精度一致。

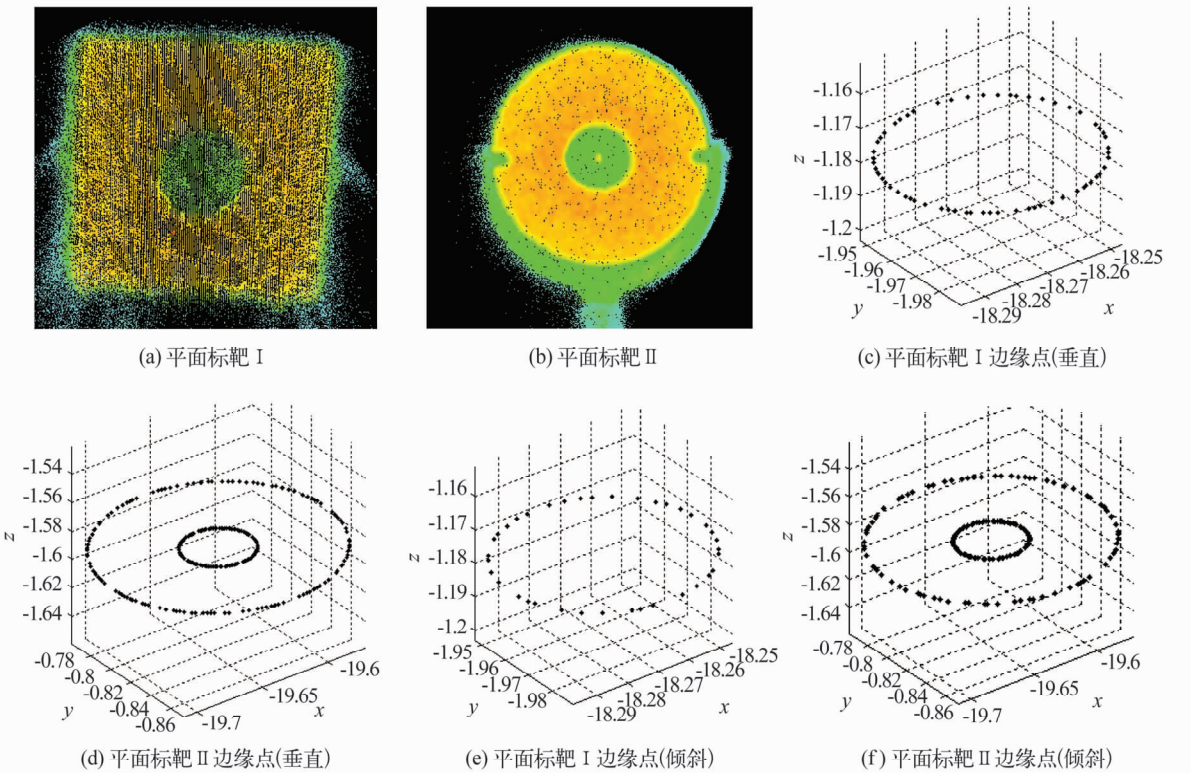


图 3 平面标靶的边缘搜索点
Fig. 3 Edge points of planar target

表 1 垂直扫描标靶中心提取比较
Tab.1 Values of planar targe center extracted with various algorithms in vertical scanning

标靶类型		边缘拟合算法	重心化算法	软件自动提取
平面标靶 I	X/m	-18.272	-18.273	-18.274
	Y/m	-1.968	-1.969	-1.967
	Z/m	-1.177	-1.177	-1.175
平面标靶 II	内	X/m	-19.642	-19.639
		外	-19.641	-19.639
	Y/m	-0.816	-0.817	-0.817
		-0.817	-0.817	-0.817
	Z/m	-1.592	-1.590	-1.591
		-1.590	-1.590	-1.591

注：“内”表示平面标靶Ⅱ的内层圆拟合中心坐标，“外”表示平面标靶Ⅱ的外层圆拟合中心坐标。

2.2 倾斜扫描提取中心精度比较

以往实验表明,如果标靶平面与扫描方向的倾角大于 50°,标靶识别软件无法找到标靶中心,这时软件自动提取失效。考虑到倾角对回光强度产生的影响,基于回光强度进行中心提取的算法也会存在很大误差。实验直接选取接近 60°倾角的情况,将垂直扫描时的平面标靶I、平面标靶II分别在水平方向旋转 60°左右。此时旋转中心不变,即平面标靶的中心不变,再次扫描标靶。设置扫描参数与垂直扫描时一致,分别对标靶中心进行提取,搜索的边缘点如图 3(e)、3(f)所示。表 2 为 3 种方法提取的中心坐标。

由表 2 可知,在倾角近于 60°时,软件无法自动提取出标靶中心,重心化法求解的中心坐标误差均在 5 mm 以上(以垂直扫描时 3 种方法求解的平均值作为基准值),而边缘拟合算法基本不受影响。

表 2 倾斜扫描标靶中心提取比较
Tab.2 Values of planar targe center extracted with various algorithms in big inclination angle

标靶类型		边缘拟合算法	重心化算法	软件自动提取
平面标靶 I	X/m	-18.273	-18.260	—
	Y/m	-1.969	-1.977	—
	Z/m	-1.177	-1.186	—
平面标靶 II	内	X/m	-19.641	—
		外	-19.640	—
	Y/m	-0.817	-0.807	—
		-0.819	-0.807	—
	Z/m	-1.590	-1.586	—
		-1.592	-1.586	—

注：“—”表示无法自动提取。

2.3 数据缺失时提取中心精度比较

边缘拟合算法的最大优势在于数据缺失时仍可以准确拟合出标靶中心,这是简单平均法、maxrad 法、maxrad4 法、加权平均法、fuzzypops 法、gridrad 法等难以做到的。由于标靶内部点的缺失不会对边缘

点搜索及中心坐标拟合造成影响,在此仅对边缘数据缺失的情况进行实验。对垂直扫描获得的平面标靶 I 的数据,删除不同区域大小的点云,形成数据漏洞,用以模拟实际扫描中可能遇到的遮挡情况。如图 4 所示,方案 1~4 分别含有 66 %、33 %、33 %、22 % 的边缘数据,方案 4 在保留 22 % 边缘点的基础上继续删除部分内部扫描点。表 3 为 3 种方法提取的中心坐标。

由表 3 可知,当边缘数据缺失达 70% 时,边缘搜索算法仍可以利用提取出的部分边缘点准确地拟合标靶中心的坐标,而自带软件只能在仅少量点位缺失情况下才能适用。由于前 3 种方案缺失的点位分布较为均匀,故对重心化算法提取精度影响较小,可视为与边缘搜索算法提取精度一致。但当缺失点位表现为无规律分布时,如方案 4,重心化算法得到的中心坐标误差大于 5 mm。

表 3 数据缺失时标靶中心提取比较
Tab.3 Values of planar targe center in different missing ratio

方案		边缘拟合算法	重心化算法	软件自动提取
平面标靶 I	方	X/m	-18.272	-18.271
	案	Y/m	-1.968	-1.967
	1	Z/m	-1.177	-1.178
	方	X/m	-18.272	-18.272
	案	Y/m	-1.968	-1.968
	2	Z/m	-1.178	-1.177
	方	X/m	-18.272	-18.270
	案	Y/m	-1.967	-1.967
	3	Z/m	-1.177	-1.177
	方	X/m	-18.271	-18.276
	案	Y/m	-1.968	-1.964
	4	Z/m	-1.177	-1.179

3 结 语

针对目前所用的平面标靶中心提取存在的问题,提出一种基于点云分布特征的边缘搜索算法。实验表明,该方法在不同情况下对比重心法、软件自动提取的优势,达到了预想效果。该方法完全基于边缘点坐标,可结合目前基于反射强度的提取算法进行协同提取。此外,可将平面标靶制作为不同材质的多环同心圆样式,分别拟合中心以增加提取的可靠性。

参 考 文 献

1 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):42-45. (Guan Yunlan,et al. A steady method for ground laser scanning target positioning [J]. Engineering Survey,2008(10):42-45)

2 Bornaz L,Rinaudo F. Terrestrial laser scanner data process-

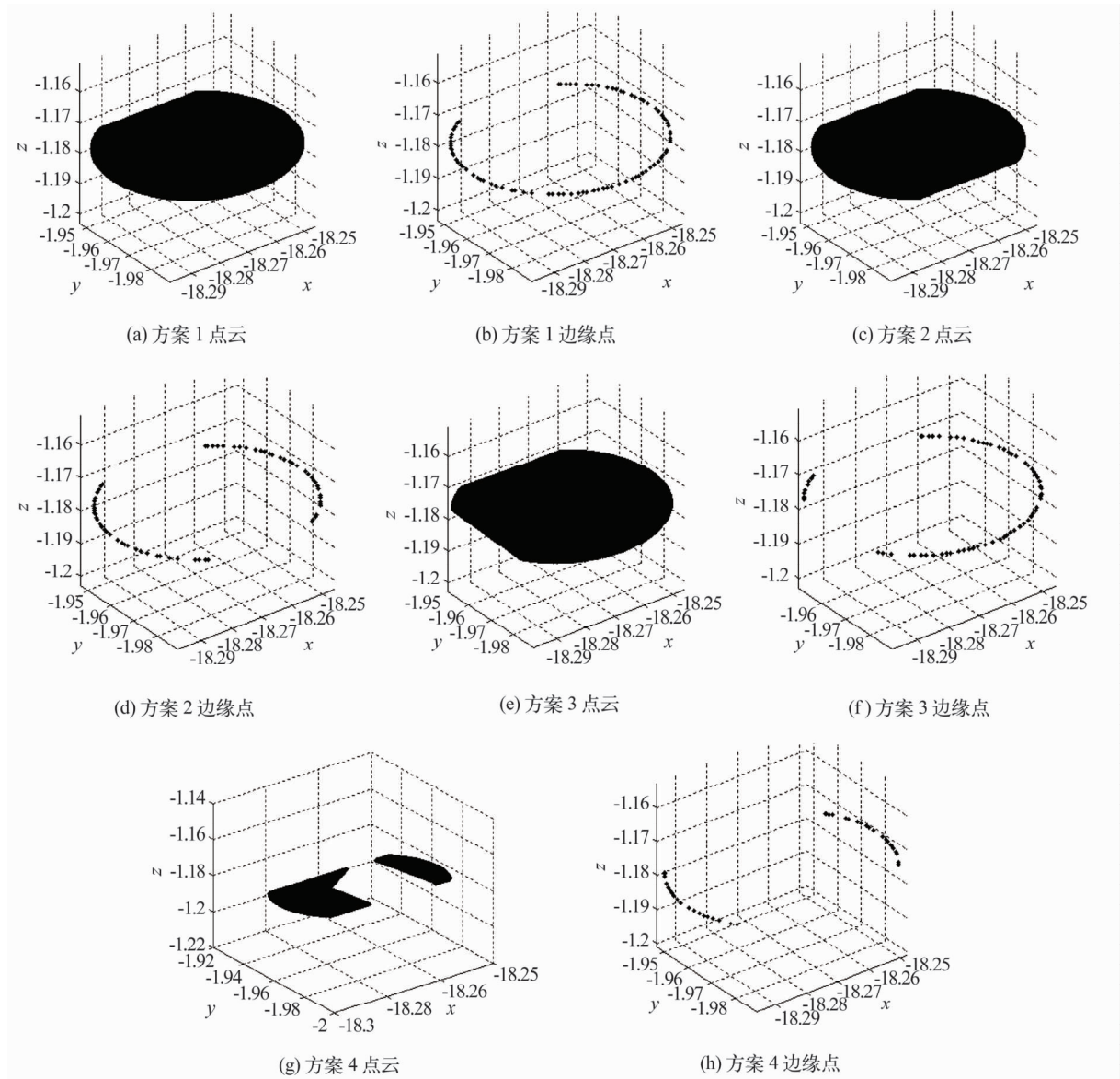


图4 不同缺失比例的边缘点

Fig.4 Edge points in different missing ratio

ing[C]. FIG Working Week,2004.

3 Lichti D. Tests on a three-dimensional laser scanning system [EB/OL]. www. cage. curtin. edu. au/geogrp/WordDocs/scancal. pdf,2000.

4 苏晓蓓,等. 地面三维激光扫描标靶中心识别算法研究[J]. 城市勘测,2010(3):68-70. (Su Xiaobei,et al. Study on the method identifying target center in ground 3D laser scanning [J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying,2010(3):68-70)

5 朱凌. 地面三维激光扫描标靶研究[J]. 激光杂志,2008,29(1):33-35. (Zhu Ling. Research on the target in TLS [J]. Laser Journal,2008,29(1):33-35)

6 王力,等. 基于回光强度的平面标靶自动识别方法[J]. 红外与激光工程,2011,40(10):1 910-1 913. (Wang Li,et al. Automatic recognition method of planar target based on return light intensity [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011,40(10):1 910-1 913)

7 田慧,等. 深度图像自动配准点云的方法研究[J]. 测绘科学,2012,37(3):41-43. (Tian Hui,et al. A method of automatically registering point cloud data based on range images [J]. Science of Surveying and Mapping,2012,37(3):41-43)

8 陈西江,等. 分带 K-均值聚类的平面标靶定位[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2013,38(2):167-170. (Chen Xijiang,et al. Planar target location based on the zoning K-means clustering [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2013,38(2):167-170)

9 张晶,等. 工程测量中空间圆的拟合方法研究[J]. 计量与测试技术,2011,38(9):31-32. (Zhang Jing,et al. Fitting method for 3D circular object in engineering surveying [J]. Metrology & Measurement Technique, 2011,38(9):31-32)

10 潘国荣,等. 空间圆形物体检测方法 with 数据处理[J]. 大地测量与地球动力学,2007(3):28-30. (Pan Guorong,et al. Test method and data processing for 3D circular object [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2007(3):28-30)