

徕卡 ScanStation2 激光扫描仪强度数据影响因素实验研究

苍桂华^{1,2} 李明峰² 岳建平¹

¹河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098

²南京工业大学测绘学院, 江苏 南京 210009

摘要 地面激光扫描仪回波强度信号不仅与地物的激光反射特性有关,还与其他因素相关,这降低了基于强度数据的地物分类结果的可靠性和精度。基于徕卡 ScanStation2型地面激光扫描仪,实验研究了仪器、距离、入射角、地物反射面特性、外界环境等因素对强度数据的影响。结果表明:强度值随距离的增大呈现先增大后减小趋势,且在距离为 15 m 左右达到最大值;强度值标准差随距离的增大首先表现为振荡下降趋势,当距离大于 55 m 后趋于稳定;入射角对强度数据的影响与地物本身特性(如地物的激光反射率、均质性)有关;接近激光波长的颜色和激光本身的颜色强度值大,但其强度值标准差也大;同一地物干燥时的强度值比湿润时高;外界环境对强度值影响有限。

关键词 遥感;地面三维激光扫描仪;回波强度;强度值;强度值标准差

中图分类号 TN958.98;P204 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.072801

Experimental Study on Factors Influencing Echo Intensity Data of Leica ScanStation2 Laser Scanner

Cang Guihua^{1,2} Li Mingfeng² Yue Jianping¹

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

²Department of Geomatics Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing, Jiangsu 210009, China

Abstract In addition to the object reflective property at the laser wavelength, the echo intensity data acquired by terrestrial laser scanner is also related to other factors, which reduces the reliability and accuracy of object classification based on intensity data. The effects of instrument, distance, incidence angle, object reflector, and environmental conditions on intensity data are studied with Leica ScanStation2 laser scanner. The results indicate that with the increasing of distance, the intensity value increases at first and then decreases, and the maximum value occurs at about 15 m, while its standard deviation declines oscillatorily and tends to be stable after increasing to 55 m. The effect of incidence angle on intensity data is related to object properties, such as object reflectance at the laser wavelength and homogeneity. Colors close to laser wavelength and the color of laser itself generate higher intensity values, while introduce higher standard deviations. For the same object, the intensity value in dry condition is greater than that in wet condition. Environmental conditions have no significant impact on intensity value.

Key words remote sensing; terrestrial 3D laser scanner; echo intensity; intensity value; standard deviation of intensity value

OCIS codes 280.3640; 280.1350; 120.5800

1 引言

地面三维激光扫描仪在获取地物的三维点坐标的同时,还提供激光波束从目标反射回来的激光回波强

收稿日期: 2014-01-10; 收到修改稿日期: 2014-02-10; 网络出版日期: 2014-06-03

基金项目: 国家自然科学基金(41174002)、江苏省测绘科研项目(JSCHKY201303)

作者简介: 苍桂华(1971—),女,博士研究生,讲师,主要从事地面激光扫描数据处理方面的研究。

E-mail: ghuac@163.com

导师简介: 岳建平(1963—),男,博士,教授,主要从事建筑物安全监控、精密工程测量等方面的研究。

E-mail: jpyue@163.com

度信号强度数据。强度数据在一定程度上反映了地物对激光的反射特性,因此可以利用强度数据或将强度数据与其他数据源融合进行地物的分类^[1-2]。以往由于强度信息中噪声太大,人们一般弃之不用。近年来随着地面三维扫描仪探测器以及数据采集技术的提高,其精度也在逐步提高^[3]。许多研究人员也开始重视对强度数据的应用^[4-7]。

然而相关应用研究中所利用的强度数据基本为原始数据。原始强度数据除与地物的激光反射特性有关外,还与仪器、距离、入射角、地物反射面特性、外界环境等因素相关。利用包含这些因素作用的原始强度数据进行地物分类势必会降低结果的可靠性和精度。因此,进行除地物激光反射率以外的强度数据影响因素研究,有效控制和消除这些因素对强度数据的影响,是提高基于强度数据的地物分类精度的关键。目前,相关研究已经开展了如下工作:地物颜色^[8-9]、地物材质^[10]、距离和入射角^[11-12]等方面对地面三维激光扫描仪强度数据的影响。这些研究存在以下主要问题:1)涉及的仪器较多,而各仪器的工作原理、性能以及所采用的激光波长是不同的,导致实验结果之间难以进行兼容合并;2)由于采用的样本尺寸较小,实验只能在较近距离下进行,而近距离处仪器对强度数据影响较大,利用这样的实验数据分析其他因素的作用,难以得出符合实际的科学结论;3)实验距离与实际作业距离存在差异,难以保证实验结果的实际应用价值。

本文基于徕卡 ScanStation2 地面三维激光扫描仪,通过一系列实验,从仪器、距离、入射角、地物反射面特性(颜色和含水量)、外界环境(温度和光照)等方面进行系统实验研究,分析这些因素对激光扫描强度数据的影响,为三维激光扫描仪强度数据的应用提供参考依据。

2 实验设备和方法

2.1 实验仪器设备

实验仪器采用徕卡 ScanStation2 型地面三维激光扫描仪,该仪器采用 532 nm 绿色激光,其具体技术参数见文献[13]。另外为了便于实验数据的采集,制作了样本框设备。该设备由铝制框架和基座组成。基座为一水准仪基座,有水准泡,用于样本框设备的整平,还有水平度盘。铝制框架焊接在基座上,框架前面的下边与基座中心线一致,中心对准基座中心。铝制框架平面尺寸为 30 cm×30 cm,厚度为 3 cm。通过基座的旋转使得放置于框架内的实验样本一起转动,并根据水平度盘读数控制实验样本的入射角。

2.2 实验材料

实验材料包括三种类型。第一种为标准反射体,反射率分别为 99%,70%,50%,20%。第二种为颜色块材料,是在 7 块同质的 KT 板材上均匀喷上不同颜色:红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。第三种为一般建筑材料,分别为木板、灰砖、混凝土、沥青、大理石和花岗岩。三种材料中标准反射体均质性最好,颜色块材料次之,建筑材料最差。所有实验材料均为平面薄板形状,尺寸为 30 cm×30 cm×3 cm。设计的材料尺寸使得仪器的实验距离能达到 70 m 左右,这是地面三维激光扫描仪实际使用中较常见的作业距离。

2.3 实验方案与方法

由于仪器对强度数据的影响可由距离影响实验获得,因此整个实验分为四部分。根据各实验目的选择实验材料,布置相应的实验条件,具体如下所示。

1) 距离影响实验。实验材料为标准反射体、建筑材料,实验条件为:入射角设置为 0°,距离分别设置为 1、3、5、7、10、12、15、17、20 m,以 5 m 递增,直至 70 m。

2) 入射角影响实验。实验材料为标准反射体、建筑材料,实验条件为:距离设置为 50 m,入射角在 0°~70°之间,按 10°递增。

3) 地物反射面影响实验。包括地物颜色和含水量影响实验。颜色影响实验采用颜色块实验材料,实验条件为:入射角为 0°,距离分别为 30、40、50、60、70 m。含水量影响实验采用浸水前、后的建筑材料,实验条件:距离为 20 m、入射角为 0°。

4) 外界环境影响实验。包括环境光和温度影响实验,均选用标准反射体、建筑材料作为实验材料。环境光影响实验的实验条件为:暗光(熄灭灯、拉上窗帘)和亮光(打开灯、拉开窗帘),在室内距离约 25 m、入射角为 0°处进行。温度影响实验的实验条件为:清晨(8 点左右,温度约 20 °C)和正午(12 点左右,温度约 28 °C),在室外距离约 25 m、入射角为 0°处进行。

利用ScanStation2扫描仪,在布设的实验条件下对实验材料进行扫描,获取实验数据。各实验数据首先通过徕卡专用软件手动选择出尽可能大范围的点云数据,去除明显错误点,并以ASCII形式导出数据;然后利用主成分分析法对点云数据进行平面拟合^[14];最后计算基于拟合平面的两个统计值:强度值(拟合平面上点的强度值平均值)和强度值标准差(σ_1)。

3 实验结果与分析

3.1 距离和仪器对强度数据的影响

图1为强度值随距离变化的趋势。由图1可知,强度值随距离的增大呈现先增大后减小趋势,最大值出现在距离为15 m时。理论上随着距离增加,返回信号能量(强度值)逐渐变小^[15]。图1中强度值随着距离增大而变大情况是由于近距离处(距离小于15 m)信号能量受仪器内的近距离信号衰减器作用,将近距离反射的强信号变小。而当距离大于15 m时,近距离信号衰减器作用较弱,信号能量主要受距离影响,距离越大,信号的衰减越强,因此强度值逐渐变小。

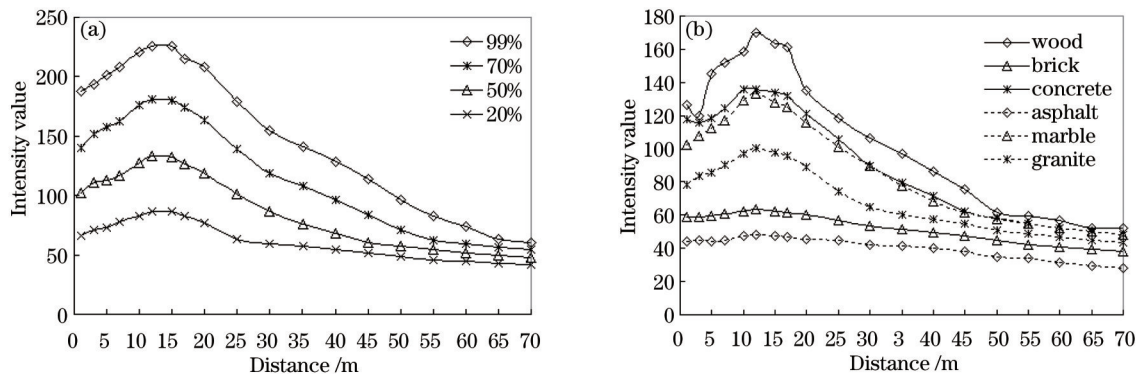


图1 距离对强度值的影响。(a) 标准反射体;(b) 建筑材料

Fig.1 Effect of distance on the intensity value. (a) Targets of defined reflectivity; (b) building materials

图2为强度值标准差随距离变化的曲线。由图2可知,随着距离的增大,强度值标准差首先表现为振荡下降趋势,在距离为55 m左右时迅速下降,55 m后逐渐趋于稳定。虽然55 m距离后强度数据质量相差不大,但随着距离的增大,测得的地物点数在减少,反映地物的细节消息在减少,同时点云数据点位精度在降低^[13]。因此综合以上考虑,实际作业最佳距离在55 m左右。

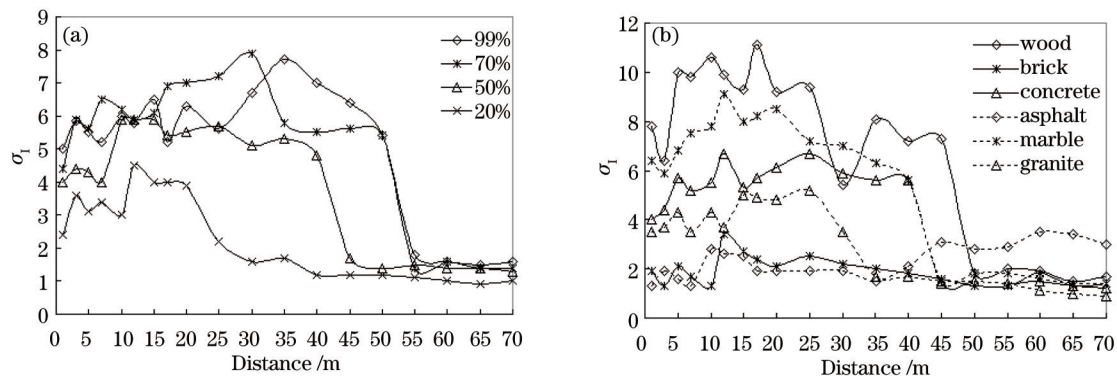


图2 距离对强度值标准差的影响。(a) 标准反射体;(b) 建筑材料

Fig.2 Effect of distance on the standard deviation σ_1 . (a) Targets of defined reflectivity; (b) building materials

3.2 入射角对强度数据的影响

图3为标准反射体的强度数据随入射角变化的曲线。由图3可知,入射角对强度值的影响与地物的激光反射率有关:随着入射角的增大,标准反射体的强度值及其标准差均呈逐步减少趋势,但高反射率样本(99%、70%标准反射体)的变化趋势较明显,而低反射率样本的变化趋势较平缓。

图4为建筑材料的强度数据随入射角变化的曲线。由图4可知,随着入射角的增大,建筑材料的强度值变化与标准反射体相类似,呈逐步减小趋势,但强度值标准差呈现无明显规律性变化。强度值标准差与地

物均质性有关,建筑材料的均质性较差,因此其强度值标准差变化曲线是波动无规律的。

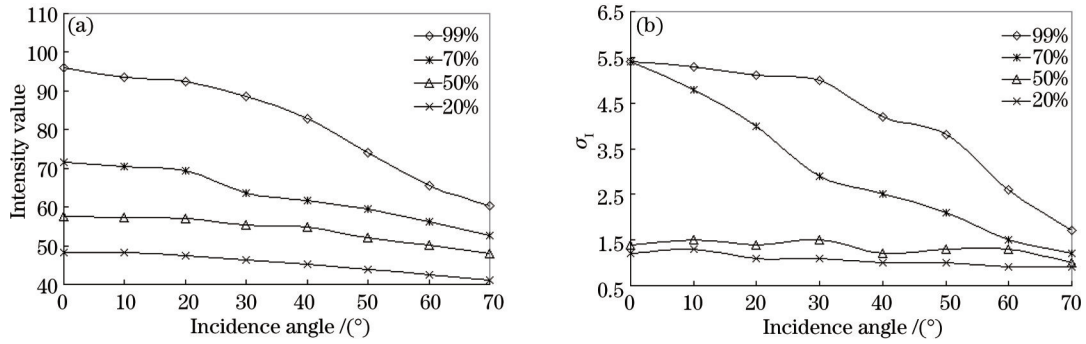


图3 入射角对标准反射体强度数据的影响。(a)对强度值的影响;(b)对强度值标准差的影响

Fig.3 Effect of incidence angle on the intensity data of targets of defined reflectivity. (a) Effect on intensity value; (b) effect on standard deviation σ_1

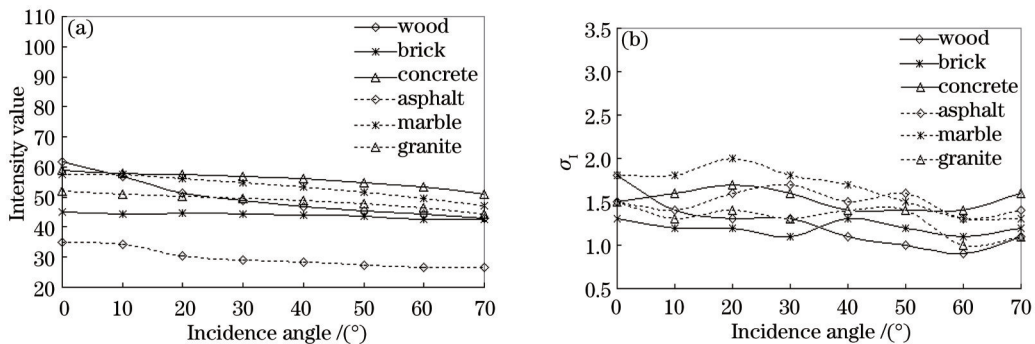


图4 入射角对建筑材料强度数据的影响。(a)对强度值的影响;(b)对强度值标准差的影响

Fig.4 Effect of incidence angle on intensity data of building materials. (a) Effect on intensity value; (b) effect on standard deviation σ_1

3.3 地物反射面特性对强度数据的影响

3.3.1 地物颜色对强度数据的影响

图5为不同测站下各颜色样本的强度值及其标准差。由图5(a)可知,不同测站下,虽然各颜色的强度值大小排序会发生细微变化,但黄色、绿色、青色的强度值相对较大,而紫色、红色的强度值较小。而由图5(b)可知,红色、紫色的强度值标准差最小,而黄色、绿色、青色的强度值标准差大。ScanStation2 扫描仪利用的是绿色激光,黄色、青色与绿色激光波长较近,绿色是激光本身颜色,这些颜色对绿色激光的反射高,因此强度值大;而紫色、红色与绿色激光波长较远,对绿色激光的反射低,因此强度值小。但各颜色的强度数据的质量却相反:反射低的颜色的强度数据质量高于反射高的强度数据质量。

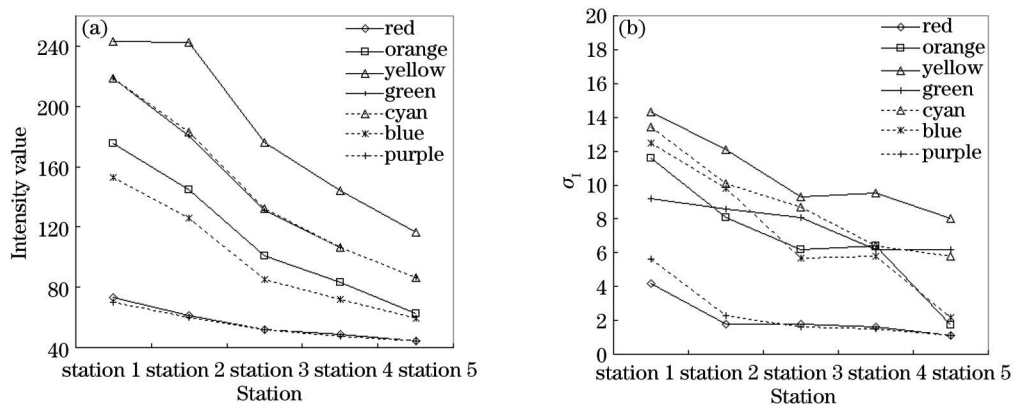


图5 颜色对强度数据的影响。(a)对强度值的影响;(b)对强度值标准差的影响

Fig.4 Effect of color on the intensity data of building materials. (a) Effect on intensity value; (b) effect on standard deviation σ_1

3.3.2 地物含水量对强度数据的影响

图6为不同含水量的建筑材料样本的强度值。由图6可知,同一建筑材料,浸水前(干燥)的强度值大于其浸水后(湿润)的强度值。这是由于水对绿色激光的吸收,导致同一材料湿润时的强度值小于干燥时的强度值。

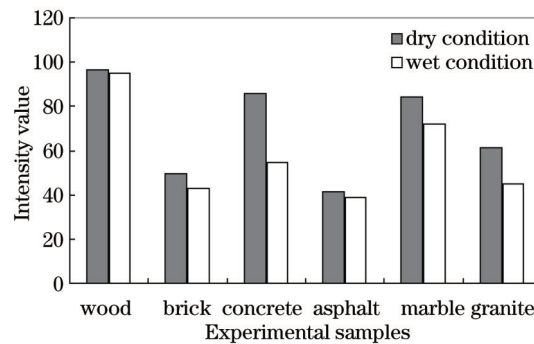


图6 不同含水量(干燥和湿润)下建筑材料的强度值比较

Fig.6 Comparisons of intensity values of building materials at different water contents (wet and dry)

3.4 外界环境对强度数据的影响

3.4.1 外界环境光对强度数据的影响

表1为实验样本在亮灯和关灯两个环境光条件下的强度值。由表1可知,同一实验样本在关灯和亮灯两个环境光条件下获得的强度值差异不大,其中99%标准反射板强度值差异最大,仅为0.9,因此环境光对地物强度值无明显影响。

表1 两种环境光条件下实验样本的强度值

Table 1 Intensity values of samples at two ambient lighting conditions

Ambient condition	99%	70%	50%	20%	Wood	Brick	Concrete	Asphalt	Marble	Granite
Illumination on	200.7	156.9	113.2	74.5	141.1	60.3	118.2	45.3	112.8	86.0
Illumination off	201.6	157.3	113.8	74.7	142.0	60.4	118.4	45.2	112.8	85.8

3.4.2 外界温度对强度数据的影响

表2为实验样本在清晨和正午两个温度条件下的强度值。由表2可知,同一实验样本在两个温度条件下获得的强度值差异不大,其中混凝土强度值差异最大,仅为3.8,因此温度条件对地物强度值影响有限。

表2 两个温度条件下实验样本的强度值

Table 2 Intensity values of samples at two temperature conditions

Temperature condition	99%	70%	50%	20%	Wood	Brick	Concrete	Asphalt	Marble	Granite
Early morning	215.4	174.4	127.1	83.1	158.0	62.4	132.1	46.5	126.7	94.4
Midday	216.6	175.8	127.1	82.9	158.4	62.4	135.9	47.5	128.9	97.1

4 结 论

1) 仪器和距离对强度数据有显著影响。近距离时,强度数据主要受仪器因素影响,强度值随距离的增大而增大;当距离大于15 m后,强度数据主要受距离因素影响,随着距离增大,强度值逐渐变小。强度值标准差先随距离增大而振荡下降,当距离增大到55 m后趋于稳定。

2) 入射角对强度数据的影响与地物本身特性有关。高激光反射率的地物,入射角对其强度数据影响较大;而对于一般激光反射率地物或均质性较差的地物,入射角对其强度数据影响小。

3) 地物的颜色和含水量对强度数据有影响。与激光波长相近颜色或激光本身颜色强度值大,但其强度数据质量差;对于同一地物,含水量越大其强度值越小。

4) 外界环境光和温度对强度数据影响有限。实际测量时均选择正常的外界温度和环境光条件下进行,因此应用激光扫描强度数据时可以不考虑外界环境因素的影响。

参考文献

- 1 Song J H, Han S H, Yu K Y, *et al.*. Assessing the possibility of land-cover classification using LIDAR intensity data [J]. International Archive of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2003, 34(3/B): 259-262.
- 2 Liu Jingnan, Zhang Xiaohong. Classification of laser scanning altimetry data using laser intensity [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(3): 189-192.
刘经南, 张晓红. 利用激光强度信息分类激光扫描测高数据[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(3): 189-192.
- 3 Lai Xudong. Principles and Applications of Airborne IDAR [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2010. 114-115.
赖旭东. 机载激光雷达基础原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010. 114-115.
- 4 Wang Jiasheng, Qiao Dongpo, Lu Yunzhang, *et al.*. Quantitative analysis of laser-induced breakdown spectroscopy in rocks by using intensity normalization method [J]. Chinese J Lasers, 2010, 37(1): 225-230.
汪家升, 乔东坡, 陆运章, 等. 强度归一化法定量分析岩石激光诱导击穿光谱[J]. 中国激光, 2010, 37(1): 225-230.
- 5 Kang Z, Li J, Zhang L, *et al.*. Automatic registration of terrestrial laser scanning point clouds using panoramic reflectance images [J]. Sensors, 2009, 9(4): 2621-2646.
- 6 M Franceschi, G Teza, N Preto, *et al.*. Discrimination between marls and limestones using intensity data from terrestrial laser scanner [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, 64(6): 522-528.
- 7 Huang Lei, Lu Xiushan, Liang Yong. Building facade extraction and classification using laser scanning intensity[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009, 34(2): 195-198.
黄磊, 卢秀山, 梁勇. 基于激光扫描回光强度的建筑物立面信息提取与分类[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(2): 195-198.
- 8 J Clark, S Robson. Accuracy of measurements made with a CYRAX 2500 laser scanner against surfaces of known colour [J]. Survey Review, 2004, 37(294): 626-638.
- 9 A Bucksch, R Lindenbergh, J Van Ree. Error budget of terrestrial laser scanning: influence of the intensity remission on the scan quality [J]. Proceedings in the GeoSiberia-2007, 2007.
- 10 T Voegtle, S Wakaluk. Effects on the measurements of the terrestrial laser scanner HDS 6000 (Leica) caused by different object materials [J]. Proceedings of ISPRS Work, 2009, 38: 68-74.
- 11 S Kaasalainen, A Jaakkola, M Kaasalainen, *et al.*. Analysis of incidence angle and distance effects on terrestrial laser scanner intensity: search for correction methods [J]. Remote Sensing, 2011, 3(10): 2207-2221.
- 12 S Soudarissanane, J Van Ree, R Lindenbergh. Error budget of terrestrial laser scanning: influence of the incidence angle on the scan quality [J]. Proceeding 3D-NordOst, 2007. 1-8.
- 13 Wang Yupeng, Lu Xiaoping, Ge Xiaotian, *et al.*. Point precision assessment for terrestrial 3D laser scanning [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2011, 4: 10-12.
王玉鹏, 卢小平, 葛晓天, 等. 地面三维激光扫描点位精度评定[J]. 测绘通报, 2011, 4: 10-12.
- 14 Jiao Hongwei, Qin Shiqiao, Hu Chunsheng, *et al.*. Research on the coordinates calibration of pulse ladar and camera [J]. Chinese J Lasers, 2011, 38(1): 0108006.
焦宏伟, 秦石乔, 胡春生, 等. 一种脉冲激光雷达与摄影机标定方法的研究[J]. 中国激光, 2011, 38(1): 0108006.
- 15 Wang Pei. Intensity simulation of vertical surface by terrestrial laser scanning [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2012, 49(8): 080102.
汪沛. 地面激光雷达扫描垂直里面的强度数据模拟[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(8): 080102.