

基于激光扫描回光强度的建筑物立面信息提取与分类

黄磊^{1,2} 卢秀山³ 梁勇⁴

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京市朝阳区大屯路 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京市石景山区玉泉路 100049; 3. 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 山东省青岛市开发区前湾港路 271019; 4. 济南市勘察测绘研究院, 山东省济南市历山路 250013)

摘要: 激光扫描仪通过发射和接收激光脉冲, 记录测量的距离、角度和物体反射的回光强度信息。在以往的研究中, 距离和角度用于获取扫描的点位信息, 而激光回光强度, 由于稳定性较弱, 并未得到充分利用。本文针对车载三维测量系统中的激光扫描仪回光强度值, 提出了一种基于强度值的地物信息提取和分类方法。将回光强度值进行角度、距离统一改正, 并分级显示, 通过绘制地物在不同能量级上的分布曲线, 确定曲线峰值对应的强度级。实验结果显示, 区分不同地物分布曲线上的峰值可以实现地物的提取和分类。

关键词: 激光扫描, 回光强度, 信息提取

Building Façade Information Extraction and Classification Using Laser Scanning Intensity

Huang Lei^{1,2} Lu Xiu-shan³ Liang Yong⁴

(1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 271019; China 4. City Exploring and Surveying Institute of Jinan, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Laser scanner records measured distance, angle and reflected laser intensity by sending and receiving laser impulse. The distance and angle data is widely used to acquire point coordinate, while laser intensity is not made full use in former research because its uncertainty and instability. This paper presents a method of extracting and classifying building information based on vehicle-borne laser scanning system. In this method, intensity is corrected according to different scanning angle and distance. Intensity is divided into certain levels, and this is used to show distributing curves of different objects and determine peak value of curves. Testing results shows that different kinds of objects can be extracted and classified from the peak value.

Key words: Laser scanning, intensity, information extraction

车载近景三维测量系统 3D_SURS 是集 CCD 数码相机、激光扫描仪 (LS)、全球定位系统 (GPS) 及系统控制器于一体的近景三维测量系统, 可动态、快速、实时地获取周围目标的地理信息^[1]。该测量系统采用的 RIEGL LMS-Q140i-80 型激光扫描仪, 获取具有扫描角度、距离和回光强度等信息的点状数据, 但从庞大的激光数据中提取建筑物有效信息目前在国内国外并没有非常完善的算法。George Vosselman 与 Sander Dijkman 提出以三维的 Hough 变换寻找处于同一平面上的点^[2]; 日本东京大学的 Dinesh Manandhar 提出将扫描点转换为二进制影像, 通过 Radon 变换的方法寻找线状物体^[3]; F. Rottensteiner 等通过航空激光扫描数据建立 DSM, 在此基础上建立 DTM, 通过设置高度限差获得建筑物轮廓^[4,5]。刘经南院士研究

了用机载激光反射率进行地物分类^[6],卢秀山等将扫描空间投影后格网化分割,进行建筑物立面轮廓的提取^[7]。本文对激光扫描回光强度进行分析,将其用于建筑物信息提取和分类。

1. 回光强度分析

扫描仪得到的关于回光强度的记录中,一个扫描点对应一个强度值,无法直观的确定这个点实际所处位置、对应物体类型,也就无法判断整个目标物对激光的反射能力。为便于强度值的分析,需要更清晰表达出扫描强度与目标物之间的对应关系,并且去除距离角度等因素对于强度值的影响,才可以进一步实现回光强度在信息提取、物体识别等方面的应用。

1.1 回光强度显示

3D_SURS 激光扫描系统数据,经过姿态改正和坐标转换,获得真实大地坐标,以点状形式表现建筑物立面,其扫描结果如图 1。

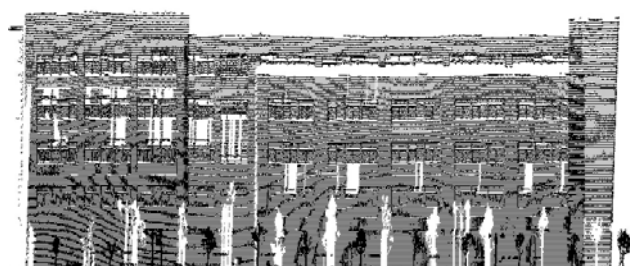


图 1 建筑物立面点数据

Fig. 1 Points of building

扫描仪的距离和角度足以获取物体位置、轮廓等信息,但并不能反应出不同物体反射激光强度值之间的差别,根据图 1 也无法对强度值进一步的分析。单纯从扫描数据中,只能逐点观察,很难发现扫描点之间的联系和规律。将扫描仪记录下的强度信息可视化,反映在图像中以利于人眼观察和分析,成为首先要解决的问题。由图 1 中可以看出,所有的扫描点都具有相同的灰度,掩盖了每个点之间的强度差别。如果将强度值分级,每一级用不同的颜色表示,那么不同强度值之间的差别就可显现出来。

回光强度取值范围 0—255,数值越大强度越大。根据统计,有效的扫描点 99%分布在 40—135 这个范围之内。为了更有效使用数据,规定大于 135 的值定为 135,小于 40 的值定为 40。然后对 40—135 之间的点,平均分成 16 个强度级,分别用不同颜色表示。回光强度与颜色对应关系如图 2。

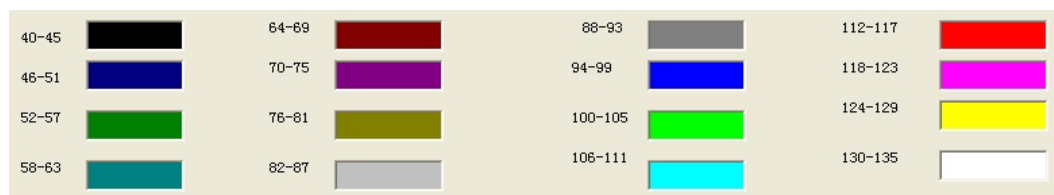


图 2 回光强度与颜色对应关系

Fig. 2 Relationship between amplitude and intensity

扫描点通过其强度值找到对应的颜色,重新显示在图像中,就可以区分出其所在的强度级。图 1 中加入强度对应的颜色后如图 3



图 3 加入颜色的建筑物立面点
Fig. 3 Colored points of building

1.2 强度值改正

通过对带有颜色的立面图像以及多组不同位置图像进行分析得出, 激光扫描强度值的大小与扫描物体、扫描距离、扫描角度等三个主要因素有关。本文中要解决的问题是区分不同物体之间的强度值, 因此应该排除距离、角度等因素的干扰, 建立距离-强度, 角度-强度之间的对应关系, 将距离和角度引起的强度变化进行统一化改正和补偿, 使所有扫描点在等效的相同距离和角度条件下进行强度值的对比分析。

1.2.1 距离改正

距离与强度值之间, 距离越大, 能量损失越大, 反射强度越小。通常扫描距离不大于 100 米, 在这个范围内强度变化并不十分明显。回光强度值 N , 扫描仪到物体距离 S , 通过多组数据的实验, 建立强度值与距离的线性关系

$$N = aS + b \quad (1)$$

其中 a, b 为未知参数, 通过观测的数据求解。取在相同角度下对同一物体不同距离 (20m, 40m, 60m, 80m) 的数据作为观测值, 对未知参数进行解算。实验结果如表 1:

表 1 距离改正数据

Table 1 Distance correction data

实验数据	a	b
第一组	-0.261	39.87
第二组	-0.367	49.152
第三组	-0.41	51.309
第四组	-0.206	46.35
第五组	-0.246	55.369
平均值	-0.298	48.41

解得距离与强度对应关系为

$$N = -0.298S + 48.41 \quad (2)$$

在确定距离与强度之间关系后, 对强度值进行距离改正, 消除因距离不同而引起的强度变化。选定扫描中心到扫描物体的平均水平距离作为参考距离 \bar{S} , 其他扫描点通过式(3), 计算出强度差值, 加入到原有的回光强度中, 得到在统一距离下的强度值。

$$\Delta N_i = 0.298(S_i - \bar{S}) \quad (3)$$

1.2.2 角度改正

由扫描数据得知, 对同一物体立面扫描, 在距离一定的情况下, 扫描张角越大, 反射的强度值越小。如图 4 所示, 扫描光线与水平线形成的张角 α 越大, 返回的能量值越小。通过不同角度扫描点强度分布的分析, 确定仍然使用线性方程近似表示强度与角度正弦值之间的关系。强度 N , 角度 A , 其中 c, d 为未知参数。

$$N = c\sin A + d \tag{4}$$

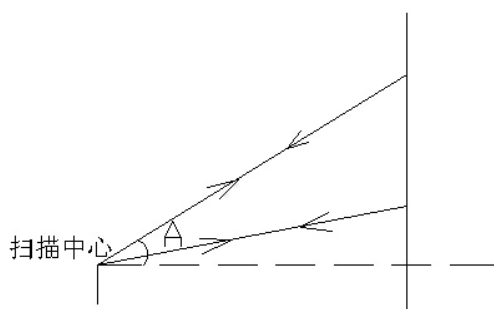


图 4 强度与角度关系示意图

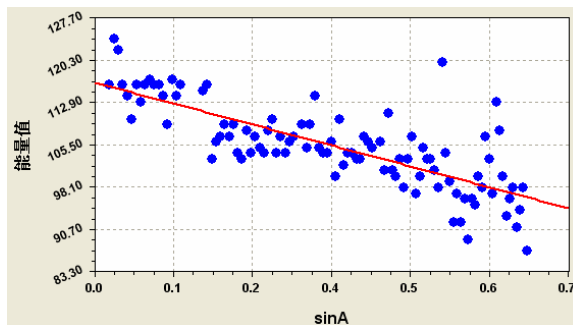


图 5 强度与角度分布拟合

Fig. 4 Relationship between intensity and angle

Fig. 5 linearity relationship between intensity and angle

同一立面上强度值随角度变化的更明显, 更复杂, 数据也较不稳定, 需要选择同一扫描线内的不同角度扫描点解算, 再取多条扫描线的结果取平均值求解式(4)中的未知参数。本文使用最小二乘拟合的方法对呈线性分布的点拟合出一条直线, 其斜率和斜距分别为 c 和 d 。图 5 为一条扫描线中的角度与强度之间的关系图, 横轴为角度正弦值, 竖轴为强度。图中显示的点为一组扫描点的角度与强度对应关系, 直线为拟合出的线性关系。共选取 6 组数据进行计算, 经过数据解算及求取平均值, 得到强度-角度之间的对应关系为

$$N = -28.93\sin A + 116.954 \tag{5}$$

解算出强度与角度的对应关系, 使用距离改正中同样的方法, 求取角度变化引起的强度差值, 加入到原有强度中, 最终改正得到相同距离, 相同角度下扫描点强度值。加入角度改正前后的数据比较分析如表 2:

表 2 角度改正前后对比

Table 2 Contrast of angle correction

强度值	角度改正前 平均值	角度改正前 中误差	角度改正后 平均值	角度改正后 中误差
第一组	105.67	7.772	115.65	5.346
第二组	104.843	6.841	112.32	5.264
第三组	104.28	6.736	111.398	5.298
第四组	104.277	6.728	111.918	5.032
第五组	104.687	6.705	112.207	5.064
第六组	104.572	6.943	112.211	5.162

从表中可以看出, 经过改正后的强度值, 补偿了因角度变化而产生的强度损失, 强度均值变大, 而聚集度增加, 总体中误差减小, 达到了强度补偿的目的。

经过距离和角度综合改正的扫描点强度图如图 6:

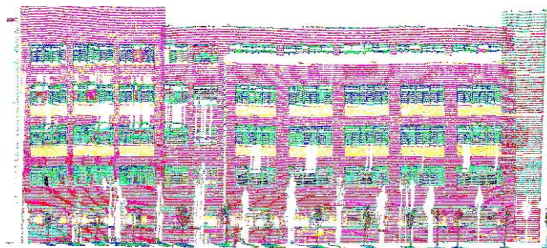


图 6 经过距离和角度改正的扫描点强度图

Fig. 6 Colored points after distance and angle correction

2 信息提取

统一处理后的强度值,其大小只与扫描物体有关,可以尝试根据回光强度辨别不同类型物体。如前文所述我们已将强度值划分为 16 个等级,通过不同强度级单独显示,可以得到不同强度级对应的不同地物。图 7 显示了各地物在不同强度级上的分布曲线。通过观察与分析可以发现,各个地物的分布曲线类似正态分布曲线,在不同强度级上会出现各自的峰值,这就非常有利于不同地物的分离。根据峰值位置的差异,选定各类地物间的分类阈值,作为各种地物的强度分类标准。前文提到的距离改正和角度改正并不能完全对扫描的强度值进行补偿,再加上其他不稳定因素的影响,导致各类地物在不同强度级上一般呈连续的分布,难以通过强度值对地物精确区分。通过曲线表示阈值分割的方法,可以在一定程度上对地物进行大体分类,然而这是以牺牲部分扫描点为代价的。不过,即使是处于曲线峰值附近的部分扫描点,依然占据了所属地物的较大比例,可以表示出地物的主体部分,不会对地物的结构及边界的识别产生太大的影响。

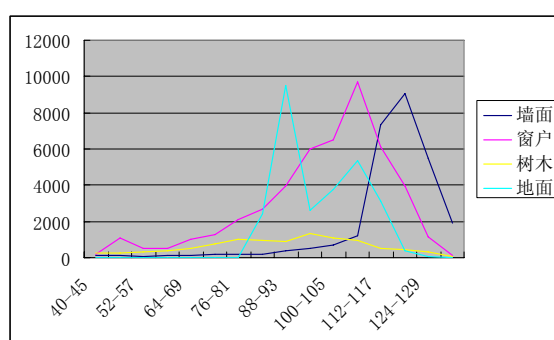


图 7 不同地物在各个强度级上的分布曲线 (各条曲线经过比例缩放)

Fig. 7 Objects distribution graph on different amplitude level

由曲线的峰值相应的强度级对整体图像进行分层显示,分解后的扫描点图像,图 8 以墙面为主,强度级为 118-123,图 9 以玻璃窗户为主,强度级为 100-105,图 10 以树木为主,强度级为 76-81。反射能力墙面大于玻璃,玻璃大于树木。不同物体的主体部分其强度值有着较大的差别,在信息提取过程中,可以通过这种强度差别提取不同类型的物体。从图中可以看出,尽管一个强度级内不可能包括同一类型物体的所有扫描点,但其主体部分已经完整保存了扫描物体立面的位置、形状等信息,完全可以在此基础上进一步的提取信息,简化数据。图 11 为在图 8 基础上对墙面提取的结果图,提取出墙面轮廓。窗户,树木可以用同样方法进行提取。



图 8 建筑物墙面

Fig. 8 Metope of building



图 9 建筑物玻璃窗户

Fig. 9 Windows of building

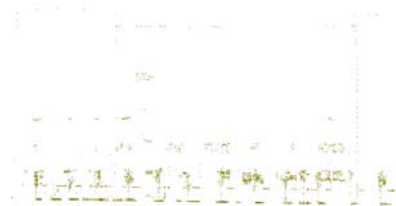


图 10 建筑物前树木
Fig. 10 Points of trees

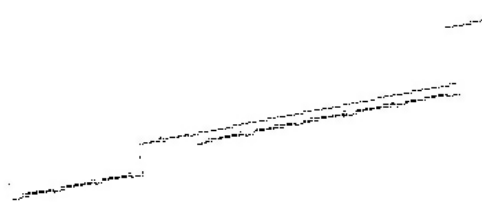


图 11 提取建筑物墙面后顶视图
Fig. 11 Extraction of building

3 总结

文章讨论了通过对激光扫描仪的回光强度数据进行一系列的处理和改正,进行强度值的可视化显示,进而在信息提取过程中区分不同扫描物体的应用。实验结果证明,通过处理后的强度数据可以用来信息提取和分类。

在国内外众多学者的工作中,利用扫描点之间的几何关系进行建筑物信息提取已经有较多的研究。由于激光扫描仪自身记录的扫描强度的限制,以及距离角度等改正无法完全补偿强度损失,使得强度值无法在信息提取中对不同地物类型精确分类,只能区分出地物的主体部分。将强度分析与几何提取方法结合,在强度分类提取的基础上提取扫描物体的结构特征,是一种可行并且有着较好前景的方法,不仅可以减少单纯几何分析的复杂度,而且可以提高建筑物等信息提取的精度。

参考文献

- [1] 卢秀山,李清泉,冯文灏等。车载式城市信息采集与三维建模系统[J]。武汉大学学报工学版,2003,36(3):76-80.
- [2] Vosselman, G, Dijkman, S, 3d building reconstruction from points clouds and ground plans[J], International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2001, 34(3W4): 37-43.
- [3] Dinesh MANANDHAR, Ryosuke SHIBASAKI. Auto-extraction of urban features from vehicle-borne laser data[C], Symposium on GeoSpatial Theory, Processing and Applications, 2002, Ottawa
- [4] F. Rottensteiner*, Ch. Briese, A new method for building extraction in urban areas from high-resolution LIDAR data[J], International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2002, XXXIV/3A: 295-301
- [5] F. Rottensteiner and Ch. Briese. Automatic generation of building models from LIDAR data and the integration of aerial images[J], International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 34(3W13): 174-180
- [6] 刘经南,张小红. 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. 3, 30(3):189-193
- [7] 卢秀山,黄磊. 基于激光扫描数据的建筑物信息格网化提取方法[J], 武汉大学学报信息科学版, 2007, 32(10):852-855

作者简介

黄磊(1982-),男,山东省邹城市人,博士研究生,主要研究方向为微波遥感与激光雷达
The First Author: Huang Lei (1982-), PH.D candidate, majors in microwave remote sensing and laser scanning.

E-mail: hlhjsx@126.com

资助项目: 国家“863”项目“近景目标三维测量技术”(一)(2003AA133040)