

基于地面三维激光扫描技术的路面测量与数据处理

徐进军¹, 张毅¹, 王海成^{1,2}

(1. 武汉大学 测绘学院 湖北 武汉 430079; 2. 河北水利水电勘察设计研究院 天津 300250)

Road Surface Surveying and Data Processing by 3D TLS

XU Jinjun, ZHANG Yi, WANG Haicheng

摘要: 针对专用软件对扫描点云数据进行数据处理的过程, 提出应用距离控制和时间控制相结合的扫描方法。结果表明应用激光扫描技术进行路面测量, 可为道路的工程设计和竣工验收等提供详尽的几何信息, 能够极大地提高工作质量和效率。

关键词: 激光扫描; 路面测量; 点云数据处理; 点云密度控制

一、引言

在道路的施工验收、竣工验收和复制中, 常常需要道路的详细信息, 如局部路面平整度、重要路段的路面起伏状况、坑洼点等。这都需要密集的路面点来构成详细的实地地面模型来表现。

传统路面测量方法主要是采用全站仪和水准仪测量路面特征点和特征线的三维坐标或者测量规则划分的格网点坐标来表现路面的几何形状, 但事实上, 在路面现场, 仅凭肉眼难以发现特征线, 而格网划分容易漏掉特征信息。这种方法不仅效率低下, 而且受路面车辆影响较大, 更重要的是容易遗漏一些特征点和特征线。

地面三维激光扫描仪可以很好地完成上述任务。它采用非接触式的测量方式, 能在现场对被测物体进行高精度、高密度的快速扫描测量, 直接获得激光点所接触的物体表面的三维坐标、色彩信息和反射强度——点云数据, 在经过计算机处理后, 可快速重构出被测物体的三维模型及线、面、体、空间等各种数据。本文介绍将 MENSIS GS200 应用到道路路面扫描测量中的测量过程、相关技术问题以及解决方法。

二、地面三维激光扫描仪测量原理

在地面三维激光扫描仪系统内部, 有一个固定的空间直角坐标系 $OXYZ$, 通过 XOY 平面上的一个反射镜和与之相垂直的另一个反射镜快速同步而有序地旋转, 引导激光脉冲发射体发出的窄束激光脉冲依次扫过被测区域, 如图 1 所示。系统同时

测量每个激光脉冲的空间距离、水平角和天顶距, 并按式(1)的空间极坐标原理计算每个被测物体表面上的激光脚点的三维坐标, 同时记录反射强度和颜色信息。

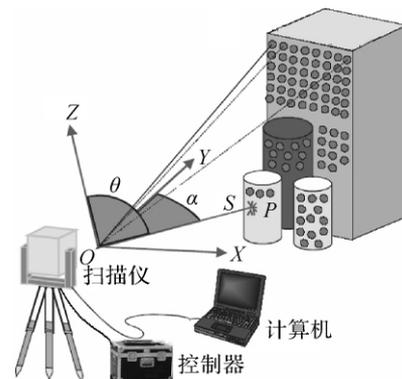


图 1 三维激光扫描仪测量原理及过程

$$\left. \begin{aligned} X &= S \sin \theta \sin \alpha \\ Y &= S \sin \theta \cos \alpha \\ Z &= S \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

扫描过程为: 将扫描仪安全地架设好, 连接好扫描仪、计算机和电源; 在随机软件 PointScape 的控制下, 扫描仪内置的 CCD 相机的影像可传递到电脑屏幕上; 在电脑屏幕上选定扫描范围, 确定水平扫描间隔、垂直扫描间隔和扫描距离; 软件会根据这 3 个参数计算水平旋转镜步进角度 ΔH 和垂直旋转镜步进角度 ΔV , 然后以该固定的步进角度在框选的范围进行扫描; 扫描数据通过串口线传入到计算机中保存, 屏幕上也可以看到点采集过程。

将地面三维激光扫描仪用于道路测量, 建立路

收稿日期: 2010-10-22

作者简介: 徐进军(1966—), 男, 湖北天门人, 教授, 主要研究方向为精密工程测量与灾害监测。

面的详细数字地面模型,对于道路复制、道路检查、道路验收以及道路变形等实际工作,具有非常重要的意义。本次试验进行了100 m长的道路测量。数据采集所用的仪器是Trimble公司的MENSI GS200激光扫描仪。标称精度为 $\pm 3 \text{ mm}/100 \text{ m}$ 4次重复测量精度可达到 $\pm 1 \text{ mm}$,最高角度分辨率为 $6''$,扫描速度为5 000点/s,测程为2~350 m。

三、路面的数据采集

1. 道路扫描的问题

为高效建立高精度的数字地面模型,必须保证表面扫描点具有必要的精度和较均匀的密度。由于地面扫描仪架设在地面上(一般高度为1.6~2.0 m左右),待测路面与激光束不能保持垂直关系。而仪器测量采用的极坐标方式类似中心投影,理论上讲,对于固定的水平步进和垂直步进,当测量面近似垂直于激光束时可以得到如图2(a)所示的较规则扫描网格;当测量面与激光束斜交时,同样的设置则得到如图2(b)所示的变形的扫描网格。因此,对于路面扫描而言它会造成如下问题。

1) 点密度不均匀:距离仪器越近,扫描点就越密;反之就越稀。而且随着距离变化,密度相差会很大。

2) 增加外业时间:因为脉冲式扫描速度较慢(如MENSI GS200为5 000点/s,实际工作时受外部环境的影响还会更慢),如果近处和远处的一起扫描,势必使远处和近处的点密度差别极大。过密的点对几何参数的提取毫无必要,而且大大延长了测量时间。

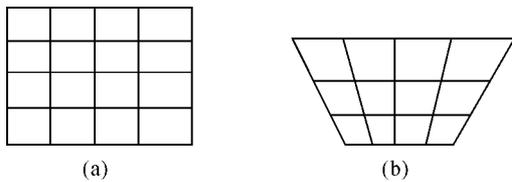


图2 扫描仪设计扫描间隔与路面实际扫描间隔

为了提高外业作业效率,保证均匀的点密度,结合实际情况,笔者提出了分块扫描方式。其中块的划分采用距离控制法和时间控制法,取得了较好的效果。

2. 扫描块的确定

为较好地控制扫描密度并提高外业测量效率,合理地确定每站的扫描区域就显得非常重要。对于道路而言,道路路面上有分道线、路旁有隔离带护栏、路灯杆等设备,它们的相对距离都有一定的

规律可循,是很好的参照标志。为了不影响交通,便于架设、转站和测量分块,仪器一般安置在主干道两侧的人行路上或者路边花坛中,如图3所示。

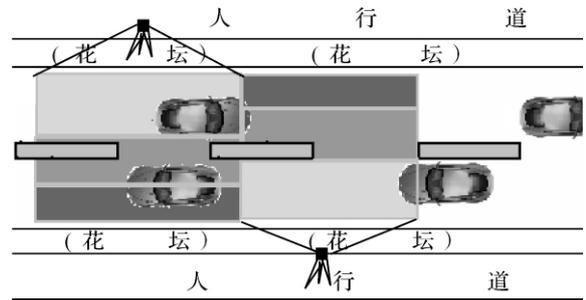


图3 扫描仪架设及扫描块的划分

3. 扫描点区域的控制方法

利用路上的车道分界线、路边的电杆、花坛、路灯、防撞栏等作为分块的参考点和参考线。

(1) 距离控制法

设 D 为仪器高, S 为仪器到路面某扫描点的斜距, v_1 、 h_1 为工程要求的路面扫描点间隔,如图4所示。假定 V_1 为扫描仪设置的扫描间隔。根据图4(b)中的近似相似关系,容易导出垂直设置间隔(垂直于道路方向)

$$V_1 = v_1 D / S \tag{2}$$

仪器上的水平设置间隔 H_1 (平行于道路方向)可以直接按照设计值 h_1 设定。

首先预选一扫描区域,测量仪器高为 D 。先测量所选区域至仪器的最远处距离 S_{\max} ,根据工程要求的设计间隔 v_1 ,由式(2)就可以计算出在仪器上应该设置的扫描间隔 V_1 ;然后,再按照0.5~0.7倍的 V_1 根据式(2)反算近处距离 S_{\min} ,如此来获得合适的扫描区域(见图3中不同灰度的区域),同时设置水平间隔 h_1 。

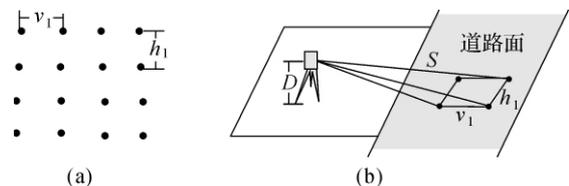


图4 仪器扫描间隔的确定

(2) 时间控制法

当选定了扫描区域和确定了水平扫描间隔和垂直扫描间隔以后,软件就会根据仪器的平均扫描速度自动计算完成该区域扫描的预计需要时间 t 。同时,也可以根据该区域的大小、设计的扫描间隔计算的扫描总点数以及仪器的实际扫描速度,计算

出扫描需要的时间 T 。如果 t 明显大于 T 则调整扫描窗口,直至稍大于 T 时即可。

4. 连接测量

一个扫描测站往往是不能扫描整条道路的,需要沿路多次架设扫描仪,最后将所有扫描数据拼接成一个整体。为了保证测站间有足够的拼接精度,应该在两站尽可能大的范围内放置 4~5 个的专门配制的高反射率球——配准球,并形成立体构型。以最高扫描精度和扫描密度对球进行扫描。通过拟合的球心坐标,来实现扫描测站间空间坐标系的转换。

为了转换到工程坐标系中,还需应用全站仪测量道路两端放置的配准球的坐标。

四、扫描数据处理

扫描的点云数据处理是在配套软件 RealWorks 下进行的。该软件提供了点云分割、采样、自动配准与手动配准、绝对坐标转换、不规则三角网生成、等高线生成、纵横断面生成、体积计算、面积计算、绘剖面图等诸多功能,能满足建模要求。

1. 点云的预处理

外业测量的点云中,各站坐标系是相对独立的,而且含有许多非地面点。点云的预处理就是删去无效数据、数据配准、绝对坐标转换和滤波等,以满足建模要求。

对每一站的点云数据,通过点云分割,裁去明显的非建模数据(如路边缘、树、路面汽车干扰等),同时采用法向量为特征的方式进行滤波处理,获得每站的路面点云数据;利用两站之间的反射球进行自动和手动的配准,统一所有点云的坐标,实际配准中误差在 ± 1 mm 左右;最后利用全站仪测量的道路两端配准球坐标,将点云数据转换到工程坐标系中。

利用扫描面积除以该面积内的总点数,得到 4.3 点/ cm^2 ,平均点距 2.1 cm,满足了规定要求。

2. 路面建模

由于路面面积较大,而且点的密度大,使得整个模型的数据量相当庞大。在计算机中同时对整条路面处理几乎无法进行。为此,须将整条道路切割成若干段,先对每段路面进行处理,最后拼接成一个整体。

对每段路面的处理主要包括:建立路面不规则三角网模型,在路面模型上根据要求的间隔绘制出

纵、横断面线,对三角网模型进行表面填充获得实体模型等,如图 5 所示。

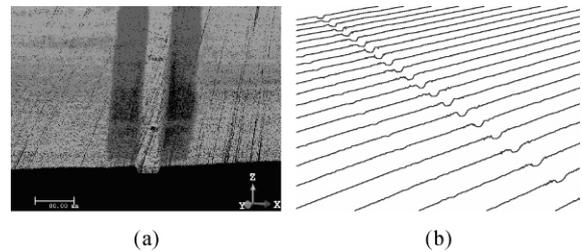


图 5 路面局部细节与路面纵断面图(10 cm 间隔)

五、结束语

地面三维激光扫描仪的测量数据以其高精度、高密度和多信息的特点,能详细描述道路的细节,为道路复制和设计提供了详细可靠的资料。针对路面扫描的特点,笔者设计了路面扫描测量的分块控制方法以控制扫描密度,节省了外业时间。最终处理成果表明其能够满足设计要求。

依照类似的原理,三维激光扫描仪还可以应用于路面如道路、机场跑道的平整度检验、路面局部变形等的质量控制中。

为了保证更高的工作效率,获得均匀的精度和密度,应尽可能高架仪器(如安置在房顶,或者工程车的悬臂平台上等),以有效减少扫描线与测量面之间的夹角。

参考文献:

- [1] 范海英. 三维激光扫描系统的应用研究[J]. 辽宁科技学院学报, 2009, 11(2): 34-35.
- [2] 郑德华, 雷伟刚. 地面三维激光影像扫描测量技术[J]. 铁路航测, 2003(2): 26-28.
- [3] 左小清, 李清泉, 唐炉亮. 公路三维模型建立与数据组织[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004, 29(2): 179-182.
- [4] 郑德华, 沈云中, 刘春. 三维激光扫描仪及其测量误差影响因素分析[J]. 测绘工程, 2005, 14(2): 32-34.
- [5] 周俊召, 郑书民, 胡松, 等. 地面三维激光扫描在石窟石刻文物保护测绘中的应用[J]. 测绘通报, 2008(11): 68-69.
- [6] KERN F, LÖSUNGEN F D. 3D-Laserscanning Bei Der Gebäudedokumentation [C] // 14th International Conference on Engineering Surveying. Zürich [s. n.], 2004.