

用激光扫描获取城市空间精细三维数据

张远智^①

胡广洋^②

^①清华大学土木工程系, 北京 100871;

^②徕卡公司北京办事处, 北京 100031

Capture of Urban Detailed Spatial 3D Data by Laser Scanning System

Zhang Yuan-zhi

Hu Guang-yang

Department of Civil Engineering

Beijing Representative Office

Tsinghua University

Leica Geosystems AG.

[摘要] 本文根据三维激光扫描系统的工作原理和流程, 分析了该系统在获取城市空间精细三维数据的应用领域, 同时, 用应用实例, 描述了三维建模软件在城市三维景观保存与重建中的工作原理和方法。

[Abstract] Based on the principle and flow of 3D laser scanning system, this article analyzes the applications for capture of urban detailed special data. And with examples, the principle and methods of 3D modeling software in application for preservation and rebuild of urban sight are described particularly.

[关键词] 激光扫描 激光测距 三维激光扫描系统 成图系统 三维建模

[Key words] laser scanning, distance measuring by laser, 3D laser scanning system, mapping system, 3D modeling

激光扫描技术的应用非常广泛, 如用于防伪的激光全息扫描, 用于医疗外科诊断的激光显微扫描, 用于食品品质检测的激光检测扫描等, 不同的应用采用了不同的激光扫描手段和方法。本文所述的激光扫描, 是指基于近景扫描获取物体三维景观模型的一种新的激光测量技术。

三维激光扫描系统, 也称为三维激光成图系统⁽³⁾, 主要由三维激光扫描仪和系统软件组成, 其工作目标就是快速、方便、准确地获取近距离静态物体的空间精细三维坐标, 建立三维立体模型, 以便对模型进行进一步的分析、数据处理和应用。其应用范围与近景摄影测量大致相同, 但激光扫描系统具有精度高、测量方式更加灵活、方便的特点, 因此三维激光扫描可广泛应用于如下的一些方面: (1) 建筑物、构筑物的三维建模, 如房屋、亭台、庙宇、塔、城堡、教堂、桥梁、高架桥、立交桥、道路、海上石油平台、炼油厂管道等; (2) 小范围的数字地面模型或高程模型, 如高尔夫球场、摩托车障碍赛赛车场、岩壁等; (3) 独立物体的三维模型, 如飞机、轮船、汽车、塑像等。(4) 自然地貌的三维模型, 如岩洞等。

一、激光扫描原理

采用激光进行距离测量已有三十余年的历史,而自动控制技术的发展使三维激光扫描最终成为现实。三维激光扫描仪的工作过程,实际上就是一个不断重复的数据采集和处理过程,它通过具有一定分辨率的空间点(坐标 x , y , z , 其坐标系是一个与扫描仪设置位置和扫描仪姿态有关的仪器坐标系)所组成的点云图来表达系统对目标物体表面的采样结果。一幅实际的点云图如图 1 所示。

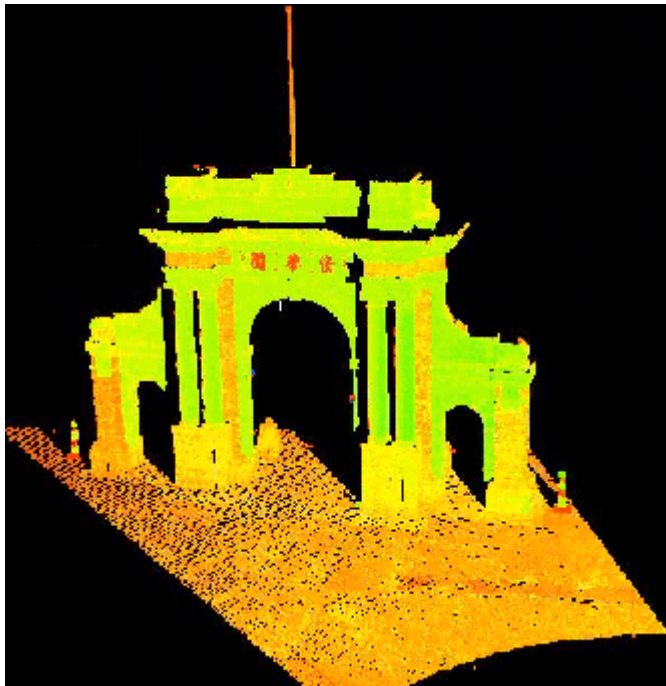


图 1, 带有反光强度色彩匹配的原始扫描点云图, 地点为清华大学二校门。(图片来源: Leica Geosystems)

三维激光扫描仪所得到的原始观测数据主要是: 1) 根据两个连续转动的用来反射脉冲激光的镜子的角度值得到的激光束的水平方向值和竖直方向值; 2) 根据脉冲激光传播的时间而计算得到的仪器到扫描点的距离值; 3) 扫描点的反射强度等。前两种数据用来计算扫描点的三维坐标值, 扫描点的反射强度则用来给反射点匹配颜色。

脉冲激光测距的原理图图 2 所示, 扫描仪的发射器通过激光二极管向物体发射近红外波长的激光束, 激光经过目标物体的漫反射, 部分反射信号被接收器接收。通过测量激光在仪器和目标物体表面的往返时间, 计算仪器和点间的距离。(关于脉冲激光工作原理的更详细的信息, 以及不同目标物体对脉冲激光的反射特性等等, 见参考文献 4)

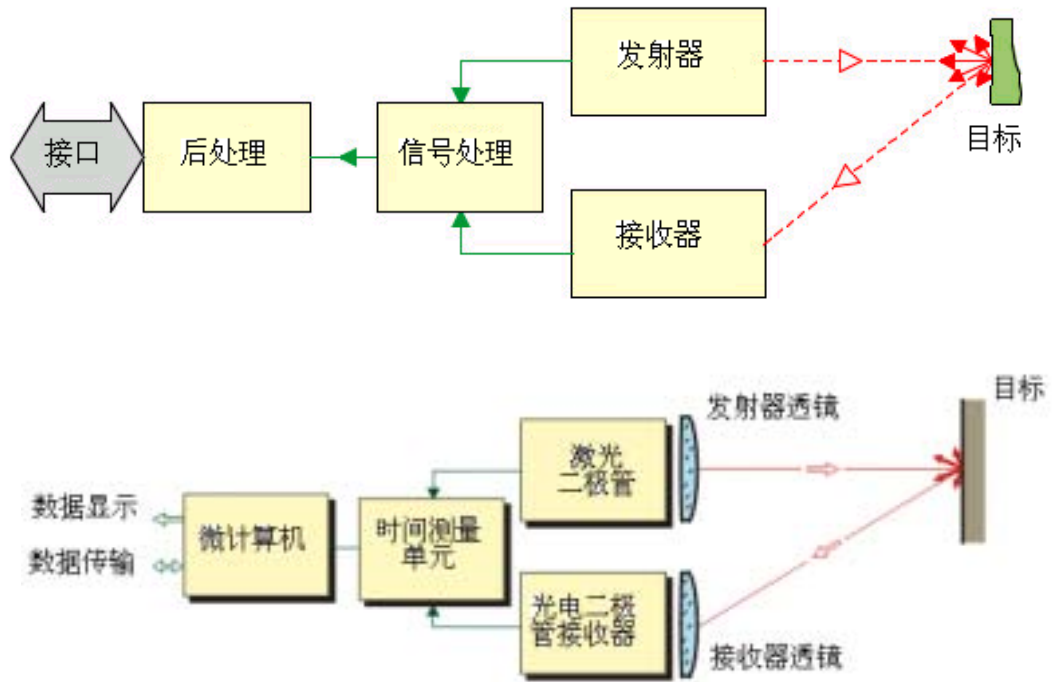


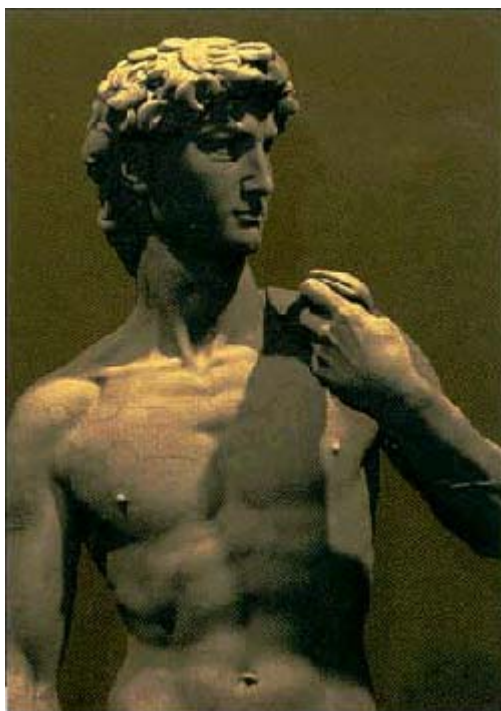
图 2，脉冲激光测距原理图

二、三维模型的生成

要将经过扫描得到的点云转化为通常意义上的三维模型，一般来说系统软件至少应该具备以下的几个条件：1）常用三维模型组件（如柱体、球体、管状体、工字钢等立体几何图形。2）与模型组件相对应的点云匹配算法。3）几何体表面 TIN 多边形算法。前两个条件主要是用来满足规则几何体的建模需求，而最后一个条件则是用来满足不规则几何体的建模需求。

系统软件提供一个称为自动分段处理的工具（auto-segmentation tools），它容许从扫描的点云图中抽取出一部分点（这部分点往往共同组成一个物体或物体的一部分），以进行自动匹配处理。在这一过程中，通过手工的方式“抽取”物体的表面轮廓，使得匹配后的结果，其表达正确，操作上易于把握。但这种自动匹配方式的处理，只适用于那些与软件中所包含的常用几何形体相一致的目标实体组件，对于那些不能分解为常用几何形体的目标实体组成部分则是无效的。此时，需要在相应的点集中构造 TIN 多边形，以模拟不规则的表面。图 3 中米开朗琪罗的大卫雕像的计算机成图是不规则形体建模的典型示例。

如图 3 所示的米开朗琪罗的大卫雕像。1999 年，在意大利的佛罗伦萨，一个来自斯坦福



福大学和华盛顿大学的 30 人小组使用三维激光扫描系统对这座具有历史意义的雕像进行了测量。除了激光扫描外，还拍摄了 7000 幅的彩色数码相片,用于渲染贴图。为了精确地得到雕像的每个细节，目标点的距离测量精度达到 0.25mm，尽管要求的分辨率是 1mm；部分地方采用数字转换的手段，分辨率甚至达到 0.29mm。大卫像高 517cm；其表面积为 19 平方米，重 5.8 吨。为了能够扫描到雕像的最高处，还特制了机动起重架。最终的大卫模型包含了 20 亿个多边形和 7000 幅彩色图片。扫描工作花费超过 1000 工时，而处理扫描的工作则超过了 1.5 倍的扫描工时。

图 3，米开朗琪罗的大卫雕像的三维计算机成图。（图片来源：斯坦福大学）

三、坐标系与坐标登记

在任意一幅点云图中，扫描点间的相对位置关系是正确的，而不同点云图间点的相对位置关系的正确与否，则取决于它们是否处于同一个坐标系下。大多数情况下，一幅扫描点云图无法建立物体的整个模型，因此，如何将多幅点云图精确地“装配”在一起，处于同一个坐标系下，是要解决的问题。目前采用的方法称之为坐标纠正（Registration）。

所谓坐标纠正，就是在扫描区域中设置控制点或控制标靶，从而使得相邻的扫描点云图上有三个以上的同名控制点或控制标靶。通过控制点的强制符合，可以将相邻的扫描点云图统一到同一个坐标系下（事实上，不同空间直角坐标系中，其需要解决的坐标转换参数共有七个，就是：三个平移参数、三个旋转参数及一个尺度参数）。

坐标纠正的基本方法有三种：1）配对方式（Pairwise Registration）2）全局方式（Global Registration）3）绝对方式（World Registration）。前两种方式都属于相对方式，它是以某一幅扫描图的坐标系为基准，其它扫描图的坐标系都转换到该扫描图的坐标系下。这两种方式的共同表现是：在野外扫描的过程中，所设置的控制点或标靶在扫描前都没有观测其坐标值。而第三种方式，则在扫描前，控制点的坐标值（某个被定义的公用坐标系，非仪器坐标系）已经被测量，在处理扫描数据时，所有的扫描图都需要转换到控制点所在的坐标系中。前两种方法的区别在于：配对方式只考虑相邻扫描图间的坐标转换，而不考虑转换误差传播的问

题；而全局方式则将扫描图中的控制点组成一个闭合环，从而可以有效地防止坐标转换误差的积累。一般说来，前两种方式的处理，其相邻扫描图间往往需有部分重叠，而最后一种方式的处理，则不一定需要扫描图间的重叠。

当需要将目标实体的模型坐标纳入某个特定的坐标系中时，也常常将全局纠正方式和绝对纠正方式组合起来进行使用，从而可以综合两者的优点。

四、应用举例

2001 年 3 月，清华大学土木系和徕卡测量系统公司的技术人员采用 Cyra 三维激光扫描系统对清华大学校内的建筑物二校门进行了三维激光扫描测量，并建立了二校门的三维模型，如图 4 所示（以下图片都来源于徕卡公司）。

Cyra 三维激光扫描系统由 Cyrax 2500 激光扫描仪和 Cyclone 3.0 系统软件组成。扫描仪最大测距范围为 200 米，单点位置测量精度为 $\pm 6\text{mm}$ 。扫描速率：1 列/秒（当采样率为 1000 点/列时）或 2 列/秒（当采样率为 200 点/列时）等。扫描密度：每行、每列最多可达到 1000 点，在 50 米处，行、列中的最小点距为 0.25mm。

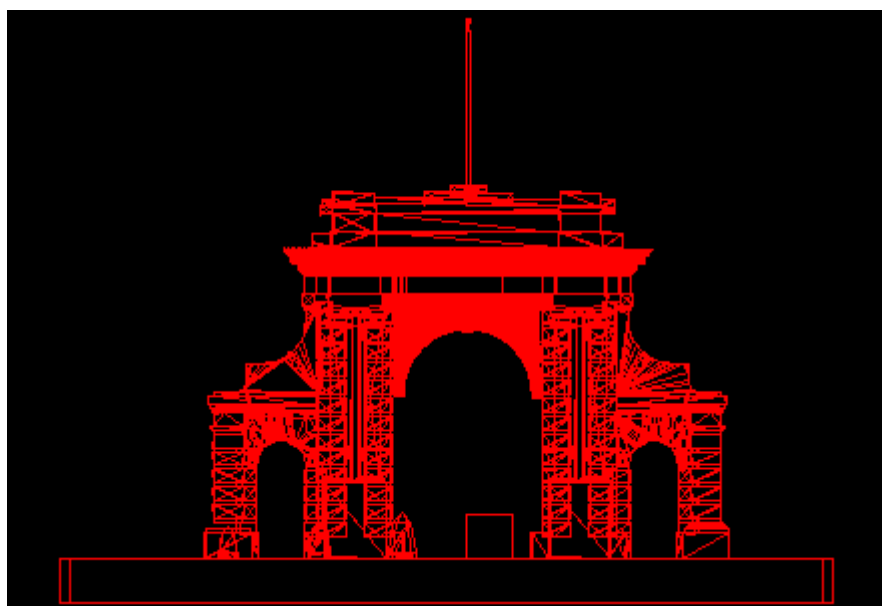


图 4，清华大学二校门三维模型前视图

1. 扫描前的准备工作

针对需要扫描的目标确定扫描的测站数以及测站位置，以及控制标靶的个数和位置。在本项目中，测站数为 4，标靶个数为 6。测站分别位于建筑物的前左、前右、后左、后右距建筑物约 10 处，标靶的位置见图 5。

2. 扫描

在选定的测站上架设扫描仪，调整好扫描仪面对的方向和倾角。将扫描仪和笔记本电脑用网线连接好，打开扫描仪的电源开关。

扫描仪的扫描过程由 Cyclone 软件控制，通过集成的数码相机得到扫描对象的影像，在影像图上选择扫描区域。根据所设置的扫描参数（如行数、列数、扫描分辨率等）扫描仪自动进行扫描。

3. 三维建模

通过软件提供的坐标登记功能，将各测站测得的点云数据“拼合”为一个完整的建筑物点云模型。利用自动分段处理功能、抽取功能、TIN 模型构造功能等功能，将建筑物的细部模型化，并最终完成整个建筑物的建模。

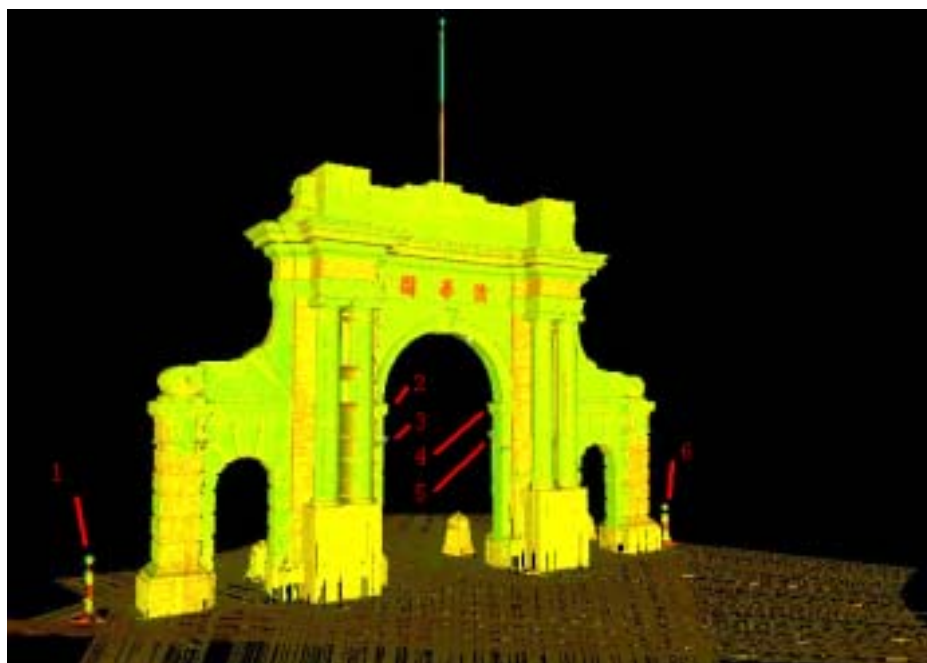


图 5，控制标靶位置图

4. 应用处理

根据实际工作的应用需要，由模型可以生成断面图，投影图，等值线图等，并可将模型以 AutoCAD 和 MicroStation 的格式输出。此外，也可以对模型进行渲染，以得到模型的晕渲图，如图 6 所示。

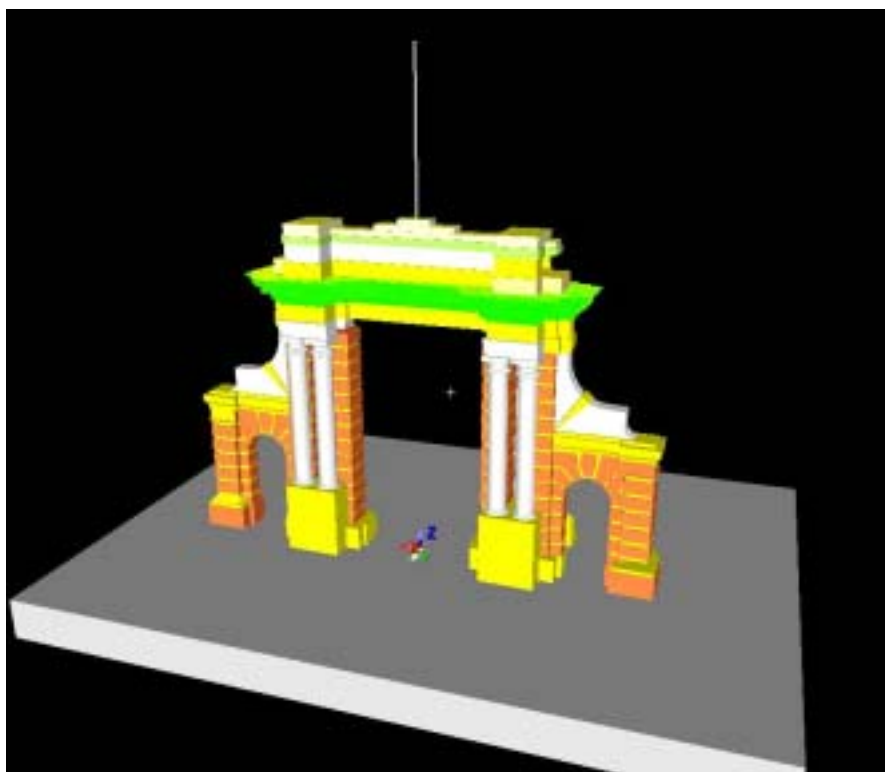


图 6，晕渲图

五、结语

随着三维激光扫描技术的迅猛发展,采用激光扫描获取三维空间数据的系统与应用也越来越成熟。对于城市精细空间数据的采集以及如何根据数据用三维立体模型表达空间信息,在技术、设备以及开发应用方面还有很多的问题值得探讨和研究,应该说,采用激光扫描获取三维空间数据这一技术具有广阔的发展空间。

参考文献:

1. Mathias J.P.M. Lemmens and Ir. Frank A. van den Heuvel ,3D Close-range Laser Mapping Systems, GIM, January 2001
2. Riegl Laser Measurement Systems,Principles of a Pulsed Laser Sensor,2001/5/22
3. Cyra Technologies Inc.,《Cyrax Model 2500,Integrated Laser Radar and Modeling System》, 2001
4. Cyra Technologies Inc.,《Cyclone 3.0 User's Manual》, 2001

作者介绍:

张远智

清华大学土木工程学院测量教研室, 副教授, 主要研究方向为工程测量和 GIS。