

# 基于 ASODVS 的全景点云数据获取技术的研究

徐海涛, 周静恺, 林璐璐, 姜荣剑, 汤一平

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

**摘要:** 针对现有三维激光扫描设备不能同时获取空间点云的坐标信息和色彩信息, 多视角点云数据配准复杂等问题, 采用了一种将全方位视觉传感器 ODVS (Omni-directional Vision Sensor) 和可移动 360° 面激光光源相结合的主动式全景视觉传感器 ASODVS (Active Stereo Omni-directional Vision Sensor) 来获取点云数据。通过人机接口对 ASODVS 的扫描步长和速度等进行控制, 实现了边扫描边获取全景点云数据; 对获取点云数据空间信息过程中的关键技术——激光投射点提取算法进行了深入研究; 采用了 3 种不同的全景激光线提取算法对全景切片图像中激光投射点进行提取, 并实验研究了各自的优劣; 实验结果表明, 对于 ASODVS 而言, 帧间差提取算法能有效快速准确的提取三维全景场景中激光投射点, 并具有消耗计算机资源少、操作过程自动化、生成数据有序等优点。

**关键词:** ASODVS; 三维激光扫描; 单视点; 点云

## Data Acquisition of Point Cloud Based on ASODVS

Xu Haitao, Zhou Jingkai, Lin Lulu, Jiang Rongjian, Tang Yiping

(Information Engineering College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** It is difficult to acquire surface geometry and color data of space point cloud simultaneously for the existing 3D laser scanners, and matching the point cloud data among different viewing angles is also hard. This paper is aimed to use an ASODVS (Active Stereo Omni-directional Vision Sensor) made up by a type of ODVS (Omni-directional Vision Sensor) and 360° mobile laser source to solve these problems. Point cloud data can be scanned and acquired at the same time using ASODVS whose scanning step and speed are controlled by a man-machine interface. Algorithm of extracting laser line which is the key technology of point cloud data acquisition is researched deeply in this paper. Three different algorithms of extracting laser line from panorama images were used in this paper to compare with each other. Experimental results show that, the algorithm of frame difference can extract laser project points in panorama images accurately and efficiently. The algorithm has advantages in less computer resources consuming, process automatically and generating data orderly.

**Keywords:** ASODVS; 3D laser scanning; single view point; point cloud

## 0 引言

现有的三维激光扫描仪, 主要包括激光测距系统、激光扫描系统、CCD 等内部部件。激光测距系统与激光扫描系统相结合, 获取所需测量的空间或物体表面上所有点的空间深度信息和扫描角, 根据空间中的几何关系计算得到每个测量点的空间坐标信息; 由 CCD 根据扫描点的反射强度进行颜色的匹配, 作为所测点的色彩信息。其中, 时间漂移原理是激光测距的常用测量原理之一, 该方法根据激光脉冲发射与接收之间的时间差计算距离值。三维激光扫描仪的工作机理, 导致其需要精密的构造和复杂的装配, 提高了仪器的制造和维护成本, 并且无法直接获得空间或物体表面的色彩和纹理信息, 需外置数码相机的配合, 利用数码相机的摄影测量技术与三维激光扫描技术的整合来实现点云的空间和颜色信息获取。两种不同传感器数据的配准操作, 不仅增加了完整获取数据的复杂度, 也降低了获取数据的精度。另一方面, 上述技术仍然属于面扫描成像技术, 无法一次对全景环境进行扫描, 需要将各个不同方向(视角)获取的坐标系不同的点云数据进行配准。目前虽然已有许多对配准算法的研究, 如最为常用的最近邻迭代配准(ICP)算法, 但依然会有误差存在, 并且需要花费较大的计算资源和人工干预。

针对以上问题, 本文将主动式全景立体技术<sup>[4-6]</sup>应用到三维点云数据的获取, 将 ODVS 与可移动面激光光源进行结合, 在控制移动面激光光源移动的过程中, 采用 ODVS 在移动面激光光源不同的高度时对全景切片图像进行采集, 根据全景切片图像中提取出的激光投射点的信息, 并依据激光投射点在全景图像上的位置计算出点云的空间信息和色彩信息, 最后根据点云加工软件的格式要求, 输出指定格式的点云数据文件。本文采用的 ASODVS 根据 ODVS 只具有单视点(作为高斯坐标系的原点)的特性对点云数据进行几何计算, 使得计算复杂度降低, 运算速度加快, 计算结果准确性和鲁棒性提高, 在兼顾效率与成本的同时, 使用单一的传感器(CMOS 成像芯片)就完整地获取了全方位点云数据的空间以及颜色信息, 免去了从多角度获取点云数据并对数据进行配准的麻烦, 为后续基于点云数据的测绘以及三维重构等研究提供了可靠的原始数据。

## 1 三维点云数据获取装置的设计

三维点云获取系统主要由硬件(包括一台 ASODVS 和一台便携式电脑)和软件两部分构成, 图 1 为基于 ASODVS 三维点云获取的系统框架图。

ASODVS 由视场范围的单视点 ODVS<sup>[9]</sup>和移动面激光光源构成, ODVS 固定在移动面激光光源上方, ODVS 的中心轴和移动面激光光源的中心轴重合, 如图 2 所示。面激光光源由 4 个分布在相隔为 90° 的线激光光源构成, 并分别固定在面激光光源构件的孔内, 这样能构成某一平面上由中心向外发射的 360° 面激光光源; 然后将面激光光源构件用螺母与移动设备的

收稿日期: 2014-03-02; 修回日期: 2014-04-12。

基金项目: 国家自然科学基金(61070134)。

作者简介: 徐海涛(1990-), 男, 浙江人, 硕士研究生, 主要从事主动式视觉方向的研究。

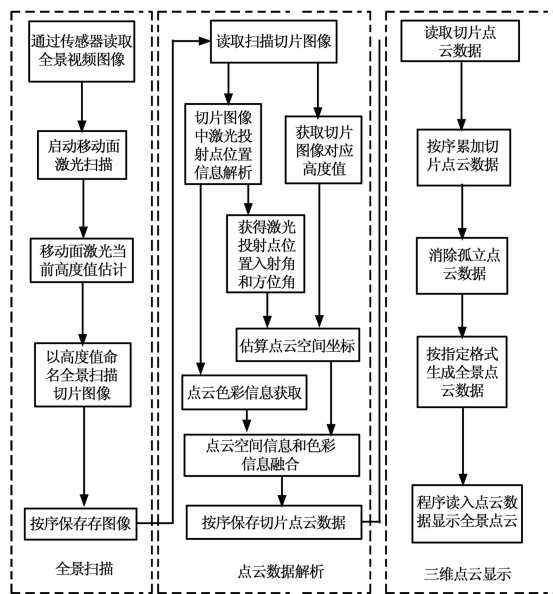


图 1 系统整体框架图

螺杆进行配合, 螺杆由步进电机直接驱动, 这样电机的转动会带动螺杆的转动, 从而带动面激光光源上下移动, 带动移动面激光光源扫描整个 360° 空间内的所有对象物体。便携式电脑通过 RS-232 接口向控制器发送控制命令, 通过控制器与驱动器的组合控制步进电机的转动, 对面激光光源构件的垂直位置进行控制, 同时通过 USB 接口实时读取 ODVS 采集的带有激光投射线的全景视频图像, 根据对全景视频图像进行解析处理, 得到所需测量的点云数据, 最终将三维点云数据按指定格式保存并输出。

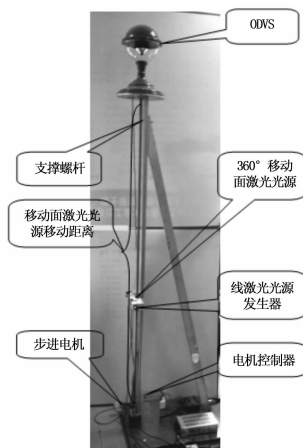


图 2 ASODVS 硬件结构图

ASODVS 中的移动面激光光源的移动控制单元使用多普康公司型号为 TC4510 的单轴控制器, 微处理器通过 RS-232 串口采用标准的 Modbus-RTU 协议与移动控制单元进行通信; 微处理器通过人机接口来设置移动面激光光源移动范围 (上下两个极限位置)、扫描间隔 (移动步长) 和面激光光源的移动速度等参数。

对于软件系统, 本文的总体设计目标是: 利用 JAVA 语言中多线程的并行处理方法, 将整个处理流程分别分为全景扫

描线程、点云数据解析获取线程、全景点云存储线程, 实现一种边三维全景扫描、边解析计算和边存储的并行处理方式。

实现上述设计目标的主要步骤为:

(1) 控制移动面激光光源构件的垂直位置, 以保证激光光源的垂直位置与 ODVS 所拍摄全景图像的时刻具有相关性, 使得通过 ASODVS 采集的场景实时图片包含有激光光源的垂直位置信息;

(2) 从全景图像中解析出激光光源的各激光投射点, 根据该时刻的激光光源的垂直位置信息以及 ODVS 标定结果计算各投射点空间位置, 得到场景内的点云数据;

(3) 移动面激光光源扫描过程中每一移动步长都会产生在某一个高度情况下的切片点云数据, 将这些数据以移动面激光光源的高度值作为保存索引, 然后按切片点云数据产生顺序进行累加, 按所需的格式输出带有几何信息和颜色信息的点云数据。

## 2 基于 ASODVS 的三维点云数据生成

### 2.1 ASODVS 的工作原理

点云的空间位置信息用高斯坐标系来表示, 每一个点云的空间坐标相对于 ODVS 的单视点为高斯坐标原点的高斯坐标用 3 个值来确定, 即  $(\alpha, \beta, r)$ , 如图 3 所示。其中,  $r$  为空间中某一点到 ODVS 的单视点的距离,  $\alpha$  为空间中某一点到 ODVS 的单视点的入射角,  $\beta$  为空间中某一点到 ODVS 的单视点的方位角。

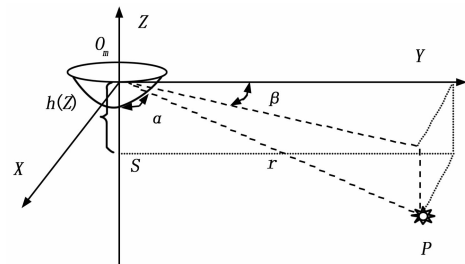


图 3 基于 ASODVS 的点云几何测量原理图

对于全景空间中的点云  $P$  点, 其三维空间坐标的计算方法由公式 (1) 给出,

$$\begin{cases} r_p(h(z)) = \frac{h(z)}{\sin \alpha_p(h(z))} \\ \alpha_p(h(z)) = \arctan\left(\frac{\|u\| \beta_p}{f(\|u\| \beta_p)}\right) = \\ \arctan\left(\frac{\|u\| \beta_p}{a_0 + a_2 \|u\| \beta_p^2}\right) \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $\|u\|$  为成像平面上的点到该平面中心点的距离,  $\alpha_0$ 、 $\alpha_2$  为标定<sup>[10-11]</sup>所得的全方位视觉传感器的内外参数,  $\|u\| \beta_p$  为点云  $P$  点对应于成像平面上的点到该平面中心点的距离,  $h(z)$  为点云  $P$  点到 ODVS 的单视点  $O_m$  之间在  $Z$  轴的投影距离,  $r_p(h(z))$  为点云  $P$  到 ODVS 的单视点  $O_m$  的距离,  $\beta_p$  为点云  $P$  点相对于 ODVS 的单视点  $O_m$  的方位角;  $\alpha_p(h(z))$  为点云  $P$  点相对于 ODVS 的单视点  $O_m$  的入射角, 其计算精度取决于 ASODVS 的标定精度及激光点的提取精度。因此, 如何从 ODVS 的全景图像上准确提取出被激光投射的空间物点  $P$  将是一个关键。

### 2.2 激光投射信息解析

针对如何准确高效提取激光投射点的问题, 本文设计并使用了 3 种激光投射点提取算法来获得全景图中的激光投射点位

置信息。

### 2.2.1 基于 HIS 模型的激光投射点提取算法

该激光投射点的提取算法是基于激光投射的颜色角度进行设计的。在一般情况下激光投射点的像素的亮度要大于成像平面上的平均亮度，选取合适的阈值，然后应用合适的颜色模型就可以判断出绿色激光的投射点，其余像素判断为干扰，即可以采用高斯近似方法来抽取出激光投射线的中心位置。

算法具体流程如下。

Step1: 遍历全景图像上所有像素点，计算亮度的平均值；

Step2: 将平均亮度的 1.2 倍作为亮度阈值；

Step3: 设置初始方位角  $\beta=0$ ；

Step4: 在全景图像上沿方位角  $\beta$  方向，从全景图像中心点开始向远离中心点的方向进行遍历，若像素点  $H$  值在 (105, 135) 范围内，且大于亮度阈值，则判断为激光投射点；

Step5: 从激光投射点中找到亮度最大点位置  $f(i)$ ，其中  $i$  表示从图像中心点开始的第  $i$  个像素点；

Step6: 根据式 (2) 计算修正值  $d$ ，激光投射点的中心位置即为  $i+d$ ，其中  $f(i-1)$ 、 $f(i)$  和  $f(i+1)$  分别为 3 个相邻像素接近最高亮度值的亮度值；

Step7: 改变方位角继续检索激光投射点，即  $\beta=\beta+\Delta\beta$ ， $\Delta\beta=0.36$ ；

Step8: 当  $\beta=360$  时，遍历结束，否则，跳转到 Step3。

$$d = \frac{\ln(f(i-1)) - \ln(f(i+1))}{2 \times [\ln(f(i-1)) - 2\ln(f(i)) + \ln(f(i+1))]} \quad (2)$$

该算法的局限性在于，在不同亮度情况下，全景图中得到的像素点颜色信息存在差异，因此该算法易受环境光的影响。

### 2.2.2 基于背景差的激光投射点提取算法

背景差是传统运动目标检测方法中最直接、最简单的一种方法。首先，先选定一幅在没有激光投射情况下的全景图像作为背景图像储存下来，然后在移动激光面扫描过程中所拍摄的全景切片图像与背景图像做减法运算。相减后所得结果中每一像素的值和一个预先设定的阈值相比较，如果这个像素的值大于设定的阈值，则判定是激光投射点。

算法具体实现流程为：

Step1: 在无激光光源照射情况下，拍摄一幅全景图像作为背景；

Step2: 打开激光光源，获得含有激光投射信息的全景图像；

Step3: 将两幅图像灰度化进行差值运算，差值小于阈值  $T$  的像素点即为激光投射点，其中本文采用的阈值  $T=5$  由实验得出；

Step4: 设置初始方位角  $\beta=0$ ；

Step5: 在全景图像上沿方位角  $\beta$  方向，从全景图像中心点开始向远离中心点的方向进行遍历，找到亮度最大的激光投射点位置  $f(i)$ ；

Step6: 根据式 (2) 计算修正值  $d$ ，激光投射点的中心位置即为  $i+d$ ；

Step7: 改变方位角继续检索激光投射点，即  $\beta=\beta+\Delta\beta$ ， $\Delta\beta=0.36$ ；

Step8: 当  $\beta=360$  时，遍历结束，否则，跳转到 Step4。

背景差其原理和算法设计简单；可以根据实际情况确定阈值进行处理，所得结果直接反映了移动激光面投射后的信息，

能够得到比较精确的激光投射点数据。但同时也存在受光线、天气等外界条件变化影响较大的缺陷。由于在获取全景切片图像的过程中都会掺入视频噪声；在户外的情况，背景经常会受到其他自然因素影响而发生变化。如何去除这些噪声显得十分重要。另外，如何选取阈值。阈值的选取直接决定了检测结果的好坏，只有恰当的阈值才能正确地分割出激光投射点。

### 2.2.3 基于帧间差的激光投射点提取算法

帧间差是一种通过对两个相邻位置高度所获得的全景切片图像作差分运算来获得激光投射点的方法，当移动激光面在上下扫描过程中，帧与帧之间在垂直方向（即不同的切面上）会出现较为明显的差别，两帧相减，得到两帧图像亮度差的绝对值，判断它是否大于阈值来分析提取全景切片图像中的激光投射点。

帧间差的优点是：算法实现简单，程序设计复杂度低；对光线等场景变化不太敏感，能够适应各种动态环境，稳定性较好。其激光投射点提取质量的好坏依赖于选择的帧间时间间隔。因此，在选择帧间时间间隔时，本文考虑了移动激光面的移动步长及速度。即在确定了移动激光面移动速度的情况下选择合适的帧间时间间隔，达到提取出的激光线相对比较集中在几个像素范围内。

## 3 实验验证及分析

本文设计的 ASODVS 中的摄像单元采用具有 USB 接口的 CMOS 摄像单元，分辨率为  $1280 \times 720$  像素，通过 USB 接口与微处理器连接，微处理器的配置如下：CPU 为奔腾 4、内存 2G、独立显卡、512M 显存，操作系统为 Windows 7，系统中安装了本文研制的基于 ASODVS 的 3D 全景点云数据获取及 AUTOCAD 等软件。

在获取 3D 全景点云数据前，首先需要对图 2 所示的三维点云获取装置进行安放，将装置放置在场景的中心位置，全方位视觉传感器方位角方向对准空间中的正北方向。此时全方位视觉传感器单视点在地面所在平面的投影点，即是三维世界坐标系中的原点 (0, 0, 0) 位置。

完成装置的固定工作后，打开三维点云获取装置的软件系统，如图 4 所示，设定扫描的移动距离，扫描的高度间隔等参数后，即完成了全部的准备工作，可以开始对三维点云数据进行提取。



图 4 三维全景点云获取装置的主界面

本文对 ASODVS 及系统软件进行了实验验证。实验环境选择了浙江工业大学某研究教学楼内的一个面积约 12 平方米大小的办公室，对办公室内的全景进行了三维点云数据的提取。

### 3.1 激光投射点提取结果的比较实验研究

本文采用了 3 种激光投射点提取算法对图 4 所示的全景激

光扫描切片图像进行了实验研究, 提取后的激光投射点在全景图像中的位置信息如图 5 所示, 图中白色点为提取到的激光投射点。图 5 (a) 是以基于 HIS 模型的激光投射点提取算法提取某扫描切片的激光投射点全景图像, 亮度阈值为全景图像中所有像素的平均亮度的 1.2 倍; 图 5 (b) 是以基于背景差的激光投射点提取算法提取某扫描切片的激光投射点全景图像, 其分割阈值为 10; 图 5 (c) 是以基于帧间差的激光投射点提取算法提取某扫描切片的激光投射点全景图像, 其移动激光面的移动速度为 400 mm/min, 帧间间隔时间为 1 150 ms。

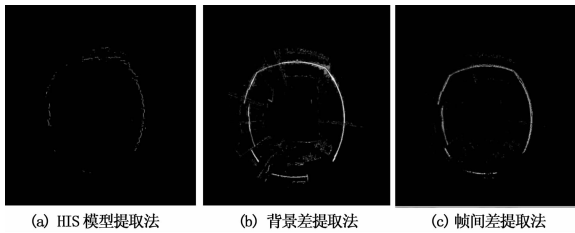


图 5 3 种不同激光投射点提取算法提取效果的比较

3 组不同提取算法的实验研究结果表明, 基于帧间差和背景差的提取算法, 相较于 HIS 颜色模型的提取算法, 都能提取到更多的激光投射点, 同时计算速度快和噪声干扰少; 帧间差法与背景差法提取结果相比较时, 帧间差法的误检点更少, 且计算速度快。由于 ASODVS 在扫描过程中, 步进电机驱动移动激光面扫描时对装置会产生一些微小的振动, 这样也会影响 ODVS 采集全景图像时的背景图像与全景切片图像一些位置偏离, 从而带来一些噪声。同时, 帧间差法无需单独获取背景信息, 算法实现简单, 程序计算复杂度低, 对光线等场景变化不太敏感, 稳定性好, 更利于实现点云获取的自动化。鉴于上述实验结果, 本文采用了基于帧间差法的激光投射点提取算法对全景扫描切片图像进行点云数据的提取。

### 3.2 点云数据的提取与重构

为了验证点云数据提取的准确程度, 本文对提取出的激光投射点用第 2 节所介绍基于 ASODVS 的三维点云数据生成算法进行了加工处理, 然后用 AUTOCAD 软件对点云数据进行全景三维重构, 重构的结果如图 6 所示。从图中可以看出, 用本文采用的激光点提取算法提取出来的点云数据具有较高的三维测量精度, 并且同时具有空间几何位置及色彩信息。关于重构部分的内容我们将在其他论文中介绍。

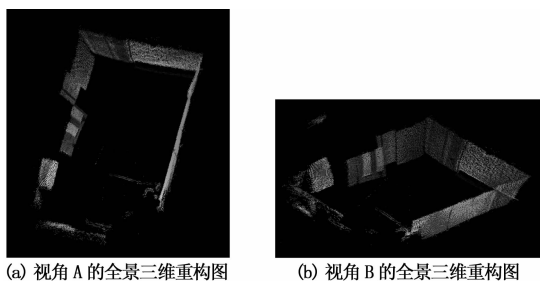


图 6 本文实验场景的全景三维重构图

同时, 我们在实验中也发现朝向窗口的点云数据缺失较多, 这是由于窗边光线过强, 激光投射线没有很好地被提取出来。实验中, 我们还发现对于那些光反射性能不好的材质以及受到外界光线照射较强的区域, 激光投射线提取精度不高。这

方面的问题, 我们考虑采用区域图像处理方式, 即用方位角的区域图像进行阈值分割提取扫描激光线。

## 4 结论与展望

如何高效准确快速提取全景激光扫描投射点是 ASODVS 中的关键技术之一。本文设计的 ASODVS 能一次性快速获取全景范围内所有被测对象表面的三维坐标数据和颜色数据, 与传统三维激光扫描设备相比具有如下创新点: (1) 采用单个传感器同时获取点云数据的空间信息和色彩信息, 避免了两种信息融合的麻烦, 降低了设备成本; (2) 同时获取和解析全景范围内的点云数据, 省去了多个视角获取点云数据需配准的问题, 减少了数据的冗余, 提高了点云数据提取的效率; (3) 保存的点云数据按切片高度以及方位角顺序有序排列, 便于点云数据的自动化处理。

今后的研究工作是: (1) 提高激光投射点提取算法的准确性和鲁棒性, 用智能算法来填补由于遮挡等原因造成的不完整点云数据; (2) 对于属于一个平面上的点云数据, 采用摄像纹理贴图方式来替代点云数据, 提高全景三维重构的快速性; (3) 进一步提高点云几何信息的计算精度。

### 参考文献:

- [1] 马立广. 地面三维激光扫描仪的分类与应用 [J]. 地理空间信息, 2005, 3 (3): 60-62.
- [2] 王红霞, 吴澄. 三维激光扫描技术及应用中的误差分析 [J]. 甘肃科学学报, 2012, 24 (3): 17-20.
- [3] Stoyanov T, Mojtahedzadeh R, Andreasson H, et al. Comparative evaluation of range sensor accuracy for indoor mobile robotics and automated logistics applications [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2012.
- [4] Yi S, Choi B, Ahuja N. Real-time Omni-directional Distance Measurement with Active Panoramic Vision [J]. International Journal of Control, Automation, and Systems, 2007, 5 (2): 184-191.
- [5] Yi S, Suh J, Hong Y, Hwang D. Active ranging system based on structured laser light image [A]. SICE Annual Conference [C], 2010: 747-752.
- [6] Masamitsu K, Yasuyoshi Y, Yusuke O. Development of a Laser Range Finder for 3D Map-Building in Rubble [A]. Pro. of the IEEE International conference on mechatronics & automation [C], 2005: 1842-1847.
- [7] Kenki Matsui, Atsushi Yamashita. 3-D Shape Reconstruction of Pipe with Omni-Directional Laser and Omni-Directional Camera [A]. Asian symposium for precision engineering and nano technology [C], 2009: 1701-1706.
- [8] Zhang C, Xu J, Xi N. Development of an omni-directional 3D camera for robot navigation [A]. The 2012 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics [C], Kaohsiung, Taiwan, July 2012: 262-267.
- [9] 汤一平, 叶永杰, 朱艺华, 等. 智能全方位视觉传感器及其应用研究 [J]. 传感技术学报, 2007, 20 (6): 1316-1320.
- [10] Micksi K B. Two-View Geometry of Omni-directional Cameras [D]. Prague: Czech Technical University, 2004. 15-25.
- [11] Scaramuzza D, Martinelli A, and Siegwart, A Toolbox for Easy Calibrating Omnidirectional Cameras [A]. Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems [C], Beijing, 2006.