第 18 卷 第 2 期 2018 年 1 月
1671—1815(2018)002-0118-05

科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering

Vol. 18 No. 2 Jan. 2018
© 2018 Sci. Tech. Engrg.

引用格式:谢杰良, 仲思东. 一种平面微观形态三维信息获取与处理方法[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(2): 118—122
Xie Jieliang, Zhong Sidong. A method for low detailed surface 3-D information acquisition and processing[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(2): 118—122

一种平面微观形态三维信息获取与处理方法

谢杰良 仲思东
(武汉大学电子信息学院,测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉 430079)

摘 要 为获取平面微观形态信息,提出了一种基于线激光扫描和精密程控平移台的点云信息自动采集方案,实现了对 A3 纸张尺寸范围内低厚物品的分幅面全自动扫描;并自动对所获取的各幅面点云数据进行无缝拼接,生成被测物体的全幅面点云集,重建出被测物体三维模型。为便于观测分析并实现 3D 打印,对获取的点云集进行了区域选择、高度直方图统计、等高线绘制以及三角网格化,得到被测物体的三维模型;并对模型表面积进行计算。所设计的系统实现了平面精度 ±0.01 mm,高程精度 ±0.002 mm 的点云采集。

关键词 激光扫描 自动化 点云处理 三维重建
中图法分类号 TP274⁺.2; **文献标志码** A

三维信息的获取是实现三维重建的关键步骤,基于激光扫描的方式获取物体表面的三维信息是目前应用最为广泛的方法。三维重建技术广泛应用在逆向工程、工程测量、虚拟现实、医学、文物保护等众多领域[1]。近年来,随着 3D 打印技术的兴起[2,3],三维重建技术的应用得到了进一步的扩展。一些油画和一些低厚度的物品,其表面起伏较大,细节丰富。获取其三维形态信息,然后对其进行 3D 打印,复制出真实物体,在三维重建领域具有重要价值。另外,在盲文阅读及信息转换方面,利用三维重建技术进行盲文的扫描读写,进行信息转化以及 3D 打印盲文图书,也有很大的应用价值。

现阶段已出现了大量的点云获取方法,包括接触式和非接触式,非接触又分为飞行时间法、光学法、计算机视觉法等。其中,飞行时间法和光学法主要应用在激光雷达上,通过激光扫描的方式采集被测物体表面大量点云数据;计算机视觉法中使用比较多的是多目立体测量,最常见的是双目立体测量,为了提高匹配和测量精度,出现了四目立体测量方法。根据不同的应用要求,包括测量范围和精度等,科研人员要选择不同的方法和设备实现三维点云的获取。针对平面微观形态物体(低厚度、表面细节丰富)的高精度三维重建工作,本文提出一种基于线激光扫描[4]的平面微观形态点云获取方案,利用结构光法[5],将线激光与二轴平移台运动姿态相配合进行扫描,结合红外光电开关的设计完成点云拼接,采集出被测物表面点云,完成相应分析处理模块;并实现点数据的可视化[6,7]。

2017 年 6 月 19 日收到 国家测绘地理信息公益性行业科研专项(201412015)资助
第一作者简介:谢杰良(1992—),硕士研究生。研究方向:机器视觉三维重建。E-mail:601374652@qq.com。

1 三维信息获取硬件系统设计

研究的基于线激光扫描的平面微观形态信息获取系统主要由激光轮廓测量仪、精密程控平移台、空气吸盘载物台与抽气泵、红外光电开关与限位条、计算机组成,如图 1 所示。在此平台上可完成油画点云的采集与分析处理工作,系统的各组成部分说明如下。

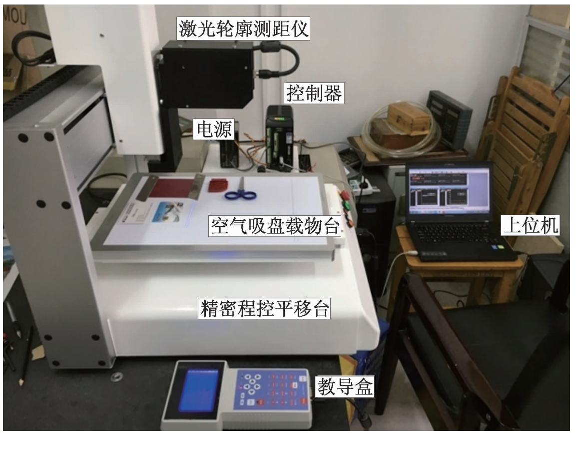


图 1 系统硬件构成

Fig. 1 Composition of technical system

(1)激光轮廓测量仪: 使用基恩士公司的轮廓测量仪,通过线激光扫描被测物体表面信息。激光

线照到被测物体经过反射到 CMOS 图像传感器,由此获取其轮廓二维信息,传给配套控制器,计算出 X、Z 方向数据,将轮廓数据传输给计算机。

(2)精密程控平移台:采用 DT—400E 精密程控平移台,可以控制 X、Y、Z 轴方向的直线位移运动。文中通过载有激光轮廓测量仪的 X 平移轴和载有空气吸盘载物台的 Y 平移轴运动,共同完成多幅面三维扫描。通过平移台自带的教导盒对机器进行程式编写,X、Y 平移臂将按预设的程式进行运动。

(3)空气吸盘载物台与吸气泵:空气吸盘载物台材质为硬铝,形状为中空矩形体,通过导管连出,表面平滑且均匀分布着许多细小吸孔。通过吸气泵抽走真空载物吸盘内部的空气,在细小吸孔处产生压力,使真空载物吸盘吸附被测纸张或油画等被测物,其表面平整安稳。

(4)红外光电开关和限位条:该部分安装在载物台下方,限位条跟随载物台在 Y 方向上运动。扫描时,载物台在限位条凹处运动。当光电开关进入或离开限位条凹处时,通过发送的脉冲信号准确的判断载物台在扫描运动时每个幅面扫描的起点和终点,确保所有幅面的起点/终点在同一 Y 坐标上,为下一步点云自动拼接奠定基础。

(5)计算机接收激光轮廓测量仪发送的数据,并实时存储,扫描完成后,生成点云数据并进行无缝拼接,完成三维建模与数据处理等后续工作[8]。

2　三维坐标获取原理

三维坐标获取需要先建立统一的坐标系。系统采用的是 $OXYZ$ 空间坐标系,如图 2 所示。文中设定 X 方向为激光轮廓测量仪发射线激光的水平方向,Y 方向为线激光垂直方向,Z 方向为被测物体深度信息的体现。由于激光扫描线长度的限制,根据扫描范围需要进行多幅面扫描。图 3 表示针对 A3 纸张扫描分为 4 个幅面的激光扫描路径。

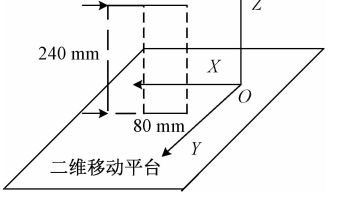


图 2　空间三维坐标方向

Fig. 2　Directions of spatial coordinates

被测物放置在 Y 平移轴上的吸盘载物台上,沿着 Y 方向前后移动。激光轮廓测量仪轮廓线扫描范围为 $L_1 = 80$ mm,每行扫描可获取点数 $N_{\text{line}} = 800$,

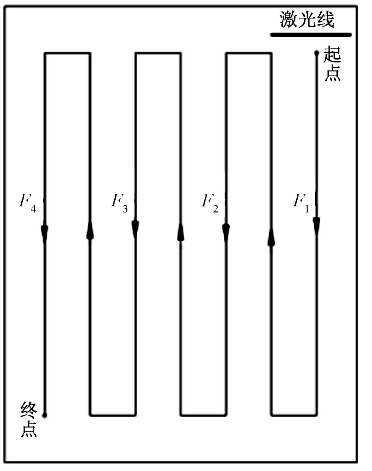


图 3　线激光扫描路径

Fig. 3　Route planning of line laser

则单幅面第 i 个点的 X 坐标可表示为

$$x_i = \frac{L_1}{N_{\text{line}}} i = 0.1i \tag{1}$$

由于激光单次扫描无法覆盖整个载物平台,所以需要通过多次扫描。设 x_1($x_1 = 80$ mm)为每个幅面的宽度,每次扫描完成一个幅面 F 后,X 平移轴沿着 X 方向平移 x_1 长度,那么 F_k 幅面某点的 X 坐标可表达为

$$X_k = kx_1 + x_i = kx_1 + 0.1i \tag{2}$$

式(2)中,$i = 1,2,\cdots,800$;$k = 1,2,3,4$。

关于 Y 坐标的确定,首先要利用高精度定时器,T 作为扫描采样周期。设事件发生前的 CPU 晶振统计次数为 C_1,事件发生后 CPU 的晶振统计次数为 C_2,已知 CPU 的晶振频率为 f,则采样周期为

$$T = \frac{C_2 - C_1}{f} \tag{3}$$

定时精度可以达到微秒级,符合工程上的精确采样的需求。

假设精密程控平移台的均匀移动速度 V,扫描幅面总长度为 L,当前幅面总行数为 M。由 Y 轴平移台匀速运动和精密定时器对激光线均匀采样得到幅面总行数 M 的情况下,采取平均分配 Y 坐标的方法,减小了误差,也保证各幅面拼接效果,第 j 行的 Y 坐标为

$$y_j = L/M_j; j = 1,2,\cdots,m \tag{4}$$

激光轮廓测量仪到达当前幅面终点完成一个幅面的扫描后,将运动到下次扫描的起点,进行下一个幅面的扫描。其中 X 方向移动了一个幅面宽度 x_1,Y 方向返回起点线,移动的位移为幅面总长度 L。

Z 坐标则直接由激光轮廓测距仪给出。激光轮廓测量仪采用垂直入射式激光三角法。半导体激光器垂直向下投射激光束,经透镜和 CMOS 检测器接

收反射光进行处理。

表 1 为基恩士轮廓测距仪的规格参数,采用的是 LJ—V7200 型号传感器。

表 1 LJ—V7200 激光传感器性能参数

Table 1 Parameter of laser LJ—V7200

光源	类型		蓝色半导体激光
	波长		405 nm(可见光)
	激光分类		2 类激光产品
测量范围	Z 轴(高度)/mm		±48
	X 轴(宽度)	近/mm	51
		参考距离/mm	62
		远/mm	73
再现性	Z 轴(高度)/μm		1
	X 轴(宽度)/μm		20
轮廓数据	间隔/μm		100

3 软件系统设计

3.1 自动化扫描控制流程设计

扫描一幅完整的 A3 尺寸的油画等物体并获取点云数据需要分为四个幅面逐扫描,然后对各幅面点云进行无缝融合拼接[8]。以 A3 尺寸扫描范围为例,系统获取油画点云自动化流程如下。

(1)首先精密程控平移台开始执行驱动程式,X、Y 平移轴处于原点,X 平移轴向第一幅面 F(1)的扫描起点运动,此时限位条遮挡红外光电开关,使之处于关闭状态,不予存储轮廓数据。

(2)当 X 平移轴到达当前幅面扫描起点,Y 平移轴开始向正方向匀速运动,此时限位条不遮挡红外光电开关使之处于打开状态,激光轮廓测量仪获得 X、Z 坐标。利用高精度定时器对获取的轮廓数据进行周期采样,得到当前幅面初始三维数据。

(3)平移台 Y 轴运动到当前幅面扫描终点,此时限位条遮挡红外光电开关,使之处于关闭状态,停止当前采样。若当前幅面不为第四幅面,平移台沿 X 方向和 Y 方向运动到下一幅面扫描起点,继续步骤(2)和步骤(3);直到当前幅面为第四幅面,扫描过程结束,进入步骤(4)。

(4)将各幅面初始点云数据拼接成全幅面点云数据,保存在 TXT 文件,数据采集流程完成。

软件系统流程图具体如图 4 所示。

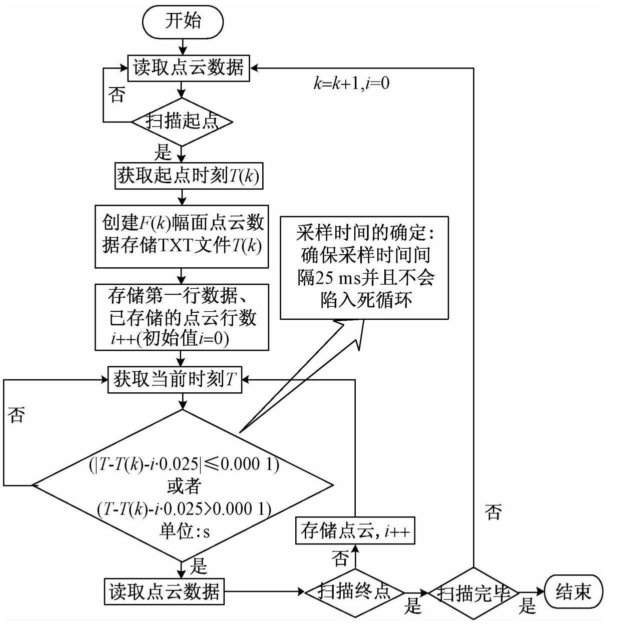


图 4 软件系统流程图

Fig. 4 System software diagram

3.2 点云分析与处理

获取得到被测物体表面点云后需要对其进行分析处理,包括点云显示观测、点云区域选取、抽稀处理[9]、三角网格化[10]、绘制高度分布统计图、剖面图、等高线等功能。以下是处理方法的简单介绍。

点云显示观测利用 OpenGL 库创建窗口平台显示点云集和三维立体模型。点云区域选取是为了提取感兴趣点云区域,剔除无关点云,核心算法采用扫描线法,通过判断点云是否处于划定好的多边形区域内来划分点云;三角网格化目的是将点云面片化,形成三维模型,采用约束限制的 Delaunay 逐点插入算法实现;高度分布统计图可以直观地表达出点云在高度方向上的点云数量分布,通过将点云按高度等分为 n 份,统计出每份高度的点云总数,将统计结果用直方图形式绘制显示;剖面图是指定某一高度,以这一高度取某一高度范围内的所有点云,并生成三维模型,作为剖面图。

4 实验及结果分析

在实验平台上对一些被测物体进行扫描,获取其三维点云,在 Windows 平台下利用 OpenGL 图形库接口结合编程显示。本文对不大于 A3 幅面尺寸的较低高度的物体进行表面三维形态数据获取。扫描的类型按纸张尺寸分为四类,A3 ~ A4 尺寸范围需扫描四个幅面;A4 ~ A5 纸张尺寸范围需扫描三个幅面;A5 ~ A7 尺寸范围需扫描两个幅面,A7 尺寸以下只需一个幅面扫描。

为了测试评定系统的平稳性与重复性精度,针对 A3 纸张范围大小,本文用高精度定时器控制行采样周期为 25 ms 和 50 ms,分别在平移台 Y 方向运动速度不同的情况下依次做了五组实验,统计出不同运动速度下扫描各幅面的采样总行数 Kn,如表 2 所示。可以看出,在同一次完整扫描中,速度相同的情况下,各幅面行数相差不超过 1 行,幅面行数与采样周期和运动速度分别满足反比例关系,满足预期

要求。因此可以得出结论，系统在 Y 方向上的稳定性和重复精度完全符合要求。另外，根据激光轮廓测量仪的精度技术指标，X 方向精度达 10 μm，Z 方向精度为 2 μm。

表 2　各幅面在不同平移速度下的行数统计

Table 2　Rows in different breadths

采样周期	速度				
	6 mm/s	3 mm/s	1.5 mm/s	0.75 mm/s	0.375 mm/s
25	2 819	5 638	11 277	22 554	45 107
	2 819	5 638	11 277	22 553	45 107
	2 819	5 638	11 277	22 554	45 107
	2 819	5 638	11 276	22 554	45 108
50	1 410	2 819	5 638	11 277	22 554
	1 410	2 819	5 638	11 276	22 554
	1 410	2 819	5 638	11 277	22 553
	1 409	2 819	5 638	11 277	22 554

为了能更直观地显示点云模型的真实性，文中将一副幅面在 A3 范围内的油画为被测物，经激光扫描获得油画的整体点云后，为了观测局部细节，经区域选取、按高分色、三角网格化等点云处理后，重建出三维模型。生成的模型的颜色由蓝到红的变化体现了模型高度上的变化，准确地表达了真实物体的三维特征。实验对比效果如图 5 所示，左图为油画局部照片，右图为对应局部三维模型。该实验验证了本方案对复杂的平面微观形态被测物体的三维信息的准确获取，在三维形态上生动地虚拟重构出了被测油画。

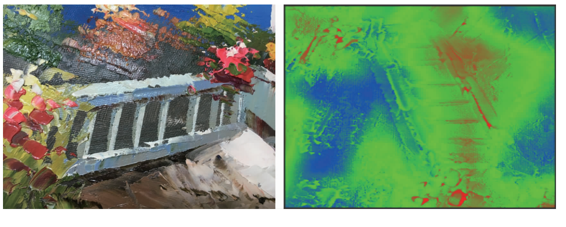


图 5　油画表面三维模型对比

Fig. 5　3D models of the oil painting

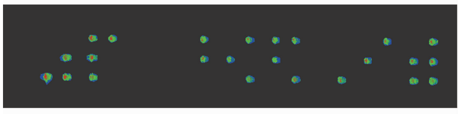
将盲文标牌“插座 2”作为被测物体，全幅面扫描获得点云后，经点云处理，盲文的实物照片与三维模型显示效果分别如图 6(a)、图 6(b)所示。

图 6 中的三维模型生成经过了点云的区域选择、点云剖面处理、三角面片格化以及按高分色等处理过程，将盲文上的凸点较好地提取了出来，为下一步盲文的读写信息转换和 3D 打印工作奠定了基础。

5　结束语

相对于立体视觉获得物体的三维形态信息，基于激光扫描的方法获得的模型精度更高，但成本一

(a) 盲文原始图



(b) 盲文三维模型

图 6　盲文三维模型效果

Fig. 6　3D model of the braille

般比较昂贵。特别是对于一些更高精度的激光扫描，会有扫描范围的限制，且扫描时间相对较长。本文以 A3 纸张范围内的平面微观物体为对象，快速获取其高精度点云，并对点云做出一些处理生成三维模型。相对于其他手持式激光雷达的点云获取方法以及立体视觉方法，文中所提出线激光分幅面扫描的方法能进行无缝拼接获得较大幅面的点云，具有点云密度高、精度高、分布均匀、扫描完整度高、成本相对廉价等优点。此外，本文采集的点云数据不具备真实的颜色信息，如何采用彩色相机配合激光轮廓扫描仪运动实现对物体表面颜色信息的采集是下一步需要重点研究的工作。

参　考　文　献

1　吴　耀，龚　珺. 基于激光扫描技术的三维模型重建. 科技信息，2013；(3)：102—103

Wu Yao，Gong Jun. Three-dimensional model reconstruction based on the technology of laser scanning. Journal of Information Science and Technology，2013；(3)：102—103

2　郭日阳. 3D 打印技术及产业前景. 自动化仪表，2015；(3)：5—8

Guo Riyang. Three-dimensional printing technology and industry prospects. Automation Instrument，2015；(3)：5—8

3　李　庆，邢志勇. 工业产品的逆向工程技术及应用. 重庆文理学院学报(社会科学版)，2016；(2)：102—105

Li Qing，Xing Zhiyong. Industrial products of reverse engineering technology and its application. Journal of Chongqing Liberal Arts College (Social Science Edition)，2016；(2)：102—105

4　杨　薇，赵　娟，周学威，等. 基于线激光扫描的三维重构系统设计. 光电技术应用，2011；(5)：5—7

Yang Wei，Zhao Juan，Zhou Xuewei，*et al*. Three-dimen-sional reconstruction system based on laser scanning line design. Journal of Photoelectric Technology，2011；(5)：5—7

5　林志雄，乐　凯，胡华亮，等. 结构光三维测量系统的点云精度分析. 武汉理工大学学报，2011；(9)：160—164

Lin Zhixiong，Le Kai，Hu Hualiang，*et al*. Point cloud precision analysis of three-dimensional measurement system by structured light. Journal of Wuhan University of Technology，2011 (9)：160—164

6　蔡润彬，潘国荣. 关于 OpenGL 在激光扫描数据处理中的应用研究. 测绘通报，2006；(09)：19—22

Cai Runbin，Pan Guorong. About OpenGL application in laser scanning data processing research. Bulletin of Surveying and Mapping, 2006;(9): 19—22

7 贺 强,程 涵,杨晓强. 面向3D打印的三维模型处理技术研究综述. 制造技术与机床,2016;(6):54—57

He Qiang, Cheng Han, Yang Xiaoqing. A three-dimensional model in the three-dimensional printing processing technology research review. Manufacturing Technology and Machine Tool, 2016;(6): 54—57

8 Bae K H, Lichti D D. A method for automated registration of unorganised point clouds. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2008; 63(1):36—54

9 雷 敏,仲思东,屠礼芬. 一种三维点云聚类算法的研究. 科学技术与工程,2014; 14(29):50—53

Lei Min, Zhong Sidong, Tu Lifen. A three-dimensional point glowed class algorithm research. Science, Technology and Engineering, 2014; 14(29): 50—53

10 曾 锋,杨 通,姚 山. 点云重构三角网格的生长型神经气算法. 软件学报,2013;(3):651—662

Ceng Feng, Yang Tong, Yao Shan. Point cloud of the reconstructed triangular mesh vegetative form nerve gas algorithm. Journal of Software, 2013;(3): 651—662

A Method for Low Detailed Surface 3-D Information Acquisition and Processing

XIE Jie-liang, ZHONG Si-dong

(School of Electronic Information, National Key Laboratory of Surveying and Mapping of Remote Sensing Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

[**Abstract**] In order to obtain graphic information of the low detailed surface, a automatic acquisition system of point cloud informational was designed, which is based on line-laser scanning and precision programmable translational. It realized that a low thickness objects, which is within the scope of A3 paper size, is scanned automatically by dividing into several parts. The point cloud of each part was jointed together without gap, generating a full width point cloud model of the objects. Because of facilitating observation and analyzing and preparing for the next step of 3 - d printing work, next work is deal with the three-dimensional point cloud data, include of selecting area of interest, triangular mesh, calculating surface area, point cloud height histogram statistics, drawing contour map, cet. The system achieved the point cloud collecting of the plane accuracy in the area of ± 0.01 mm and the high accuracy in the area of ± 0.002 mm.

[**Key words**] laser scanning automation point cloud processing three-dimensional reconstruction