

室内场景激光点云数据的三维建模

刘 佳¹，张爱武¹，杨丽萍¹

(1. 首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室，北京 100037)



摘 要：三维激光扫描技术能够快速精确地获取周围场景的三维几何信息，是近几年迅速发展起来的新型的空间信息采集技术，但是目前对于获取到的激光数据的处理却较为落后，严重制约着扫描设备的广泛应用。本文利用三维激光扫描系统 AX-LMS200 获取室内场景的空间信息和纹理信息。根据室内场景距离图像含有大量平面和单站点扫描的特点，进行了点云数据预处理、Delaunay 三角剖分建模并对模型进行简化，为室内场景三维重建提供了有效方法。

关键词：激光扫描；距离图像；Delaunay 三角剖分

中图分类号：TP391.9

文献标识码：A

文章编号：

一、引言

三维激光扫描技术是上世纪九十年代中期开始出现的一项高科技技术，它通过高速激光扫描测量的方法，大面积高分辨率地快速获取被测对象表面的三维坐标数据，为空间信息的获取提供了全新的技术手段。但是目前对于采集到的激光数据的处理研究却较为落后，严重制约着扫描设备的广泛应用。其中将获取的点云数据转化为具有几何和拓扑意义模型的三维建模过程是激光数据处理的重要环节。

在此领域，国内外研究者提出了多种三维建模的方法。例如：用于工业制造的基于函数拟合的三维重建方法^[1]，应用于医学上的基于等值面的 MQ (Maching Cube) 算法^[2]，还有基于距离图像的网格链接方法^[3]。这三种建模方法构成的高精度三维细节模型不利于后期的模型绘制、存储、和网络传输。为了对复杂模型进行简化，Rossignac and Borrel^[4]提出了规则顶点聚类方法，此方法简单、速度快、广泛应用到任意的三角形集合中，但是简化后的模型质量差。Kalvin and Taylor^[5]利用区域合并方法简化模型得到了较好质量的结果，但是实现过程过于复杂，而且不利用于后期绘制。Schroeder^[6]提出了顶点抽取的网格简化算法，多用于流形表面。由Hopper^[7]，Garland and Heckbert^[8]，Lindstrom and Turk^[9]提出的基于点对的迭代收缩方法是目前常用的方法。

基于激光扫描数据的三维重建主要包括四部分：数据获取，数据配准，构建模型和纹理映射。本文利用自主开发的三维激光扫描系统 AX-LMS200采集场景的三维空间数据和纹理数据，分别以距离图像和强度图像形式表达。将 AX-LMS200扫描系统设置成单个站点连续 360 度扫描，可以获取到室内完整的三维数据，减少了数据配准环节，降低了建模复杂度。根据室内场景含有大量平面，利用 Delaunay 三角剖分建模，可以快速得到场景的三维几何模型，便于后期的绘制和渲染。

1 数据采集

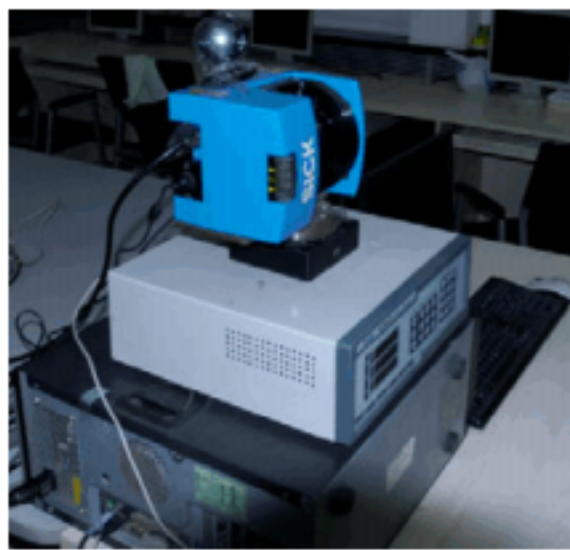
1.1 几何信息¹

本文自主开发的三维激光扫描系统 AX-LMS200 可以 360 度连续扫描，一秒内采集 7256 个点的三维坐标，测量距离为 80m，精度可达 6mm，满足室内外大规模场景三维信息的获取需求。系统主要部件有二维激光扫描仪 Sick LMS 200、水平旋转的高精度转台和步进电机。通过步进电机控制扫描仪的旋转角度和扫描速度获取场景的三维数据，其中二维激光扫描仪和高精度旋转台同步采样是实现三维激光扫描的关键。

系统部件间通讯主要分为两部分：一是激光扫描仪利用 Quatech 卡转换出的 RS_422接口和计算机通信，传输波特率达到 500kBaud，避免了由于内部缓存不足引发的数据丢失问题。二是高精度旋转台通过 RS_232与计算机通信，传输扫描仪的旋转角度。系统 AX-LMS200整体外观如下图 1 所示。

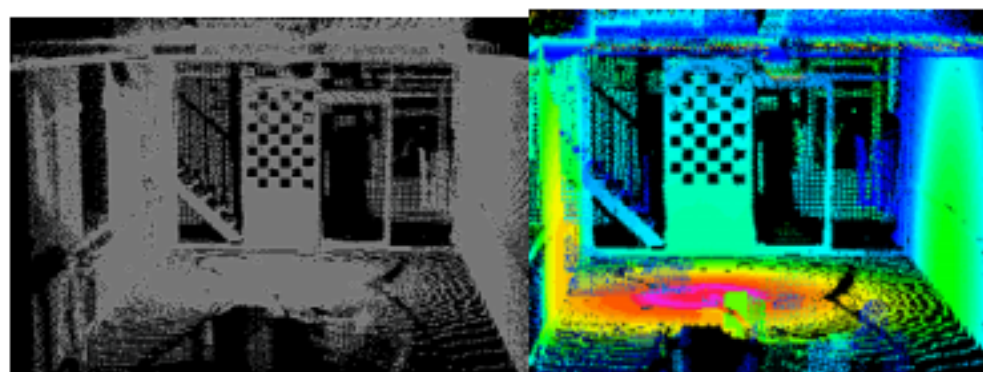
作者简介：刘佳（1984-），女，山西省临汾市人，硕士研究生，从事三维信息获取与应用、三维激光以及虚拟现实等的研究

张爱武（1972-），女，内蒙古人，教授，主要研究领域为三维信息获取与处理、计算机视觉与模式识别、并行计算、虚拟现实等研究



图（1）AX-LMS200 外观

对系统做优化时，我们考虑了三维激光扫描系统中二维激光雷达和旋转台的时钟同步性，使得激光扫描仪在完成一次垂直方向的线扫描时，水平方向上的旋转台正好转过扫描角分辨率的角度，达到最优设置。同时在后期数据解算时引入加速运动补偿，减少了由于转台连续加速减速产生的震动误差和水平定位误差。由于 Sick LMS200 不能记录物体的反射率信息，根据场景不同的深度信息给三维点云数据加入伪彩色，便于分辨立体几何关系。获取的距离图像和伪彩色图像如下图（2）所示：



图（2）(a) 实验室走廊的距离图像 (b) 加伪彩色的距离图像

1.2 纹理信息

室内场景的纹理信息由 Sick LMS 200 顶部额外配置的罗技 Pro5000 网络摄像头获取，这款摄像头配置了蔡司镜头，像素可达 130 万，每秒 30 帧，采用 RightLight 技术满足了室内光线不足情况下的拍摄。根据摄像头的视角范围和转台的旋转速度，设定旋转一周采集 15 到 20 张相片，用于全景图的拼接。实验室内全景图如下图（3）所示：



图（3）实验室全景图

2 数据预处理

场景建模前首先需要对获取的点云数据做去噪声处理，产生噪声的原因主要有三部分：一是由于被测物体表面反射率低、距离扫描仪过远或者入射光太强引起的噪音，可以通过调整物体和扫描仪之间的距离来解决；二是系统误差噪音，主要是二维激光扫描仪旋转棱镜中心和转台旋转中心不重合引起的安装误差，利用平板标定方法对系统做标定计算出校正参数，用校正

参数修正三维数据。修正后的室内场景局部放大图如下 (4) 所示，可以看出激光采样点排列规则整齐，平面区域光滑，边界清晰；三是不确定性噪音，主要是针对室外大规模场景中由于行人和车辆通过时产生的噪音，但是对于室内小范围场景扫描时，此噪音可以人为避免。

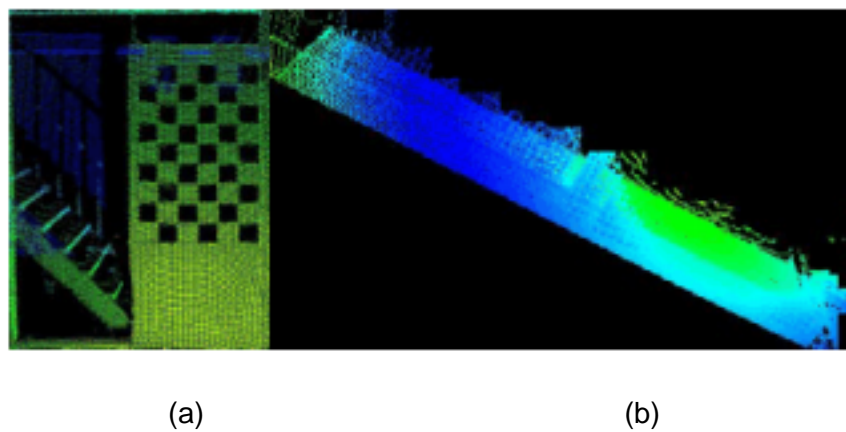
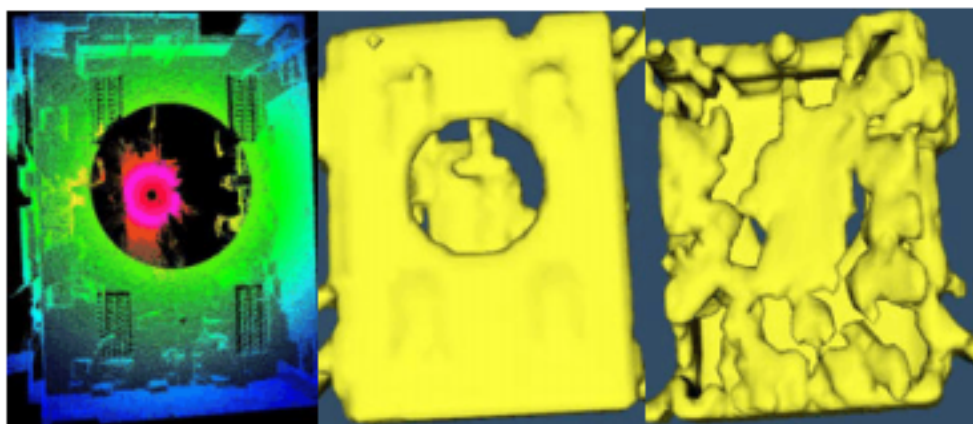


图 (4) (a) 标定板放大图 (b) 实验室走廊墙壁放大图

为了提高建模质量，需要对扫描数据进行中值滤波，在距离图像上滑动一个定值窗口，将窗口内的点根据 Y 值大小顺序排列，取中点值作为窗口的中心点。点云数据经过预处理后为下一步的建模工作做好充分准备，处理结果直接影响后期的建模、渲染和传输。

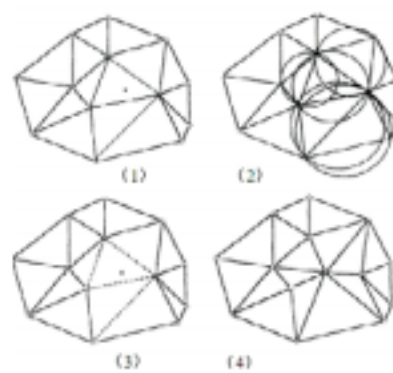
3 Delaunay 三角剖分建模

三维激光扫描系统获取的点云数据是离散的，无法精确表现真实场景的几何信息，不能满足实际应用，因此需要把离散的点云数据连续化生成表面模型来模拟场景的表面。目前较为常用的是抽取等值面建模和 Delaunay 三角剖分建模。抽取等值面建模适用于规则点云数据，建模速度较快，生成的模型没有空洞，但是不能突出模型的细节，如下图 (5) 所示实验室场景的 Marching Cubes 方法建模。Delaunay 三角剖分建模将离散点进行插值构建不规则三角网逼近场景物体表面，建模前后数据的拓扑关系保持一致，能够突出模型的细节部分，但是三角剖分时间复杂度高，建模速度慢，如果初始点选取不当生成的模型会有空洞，影响模型的绘制。



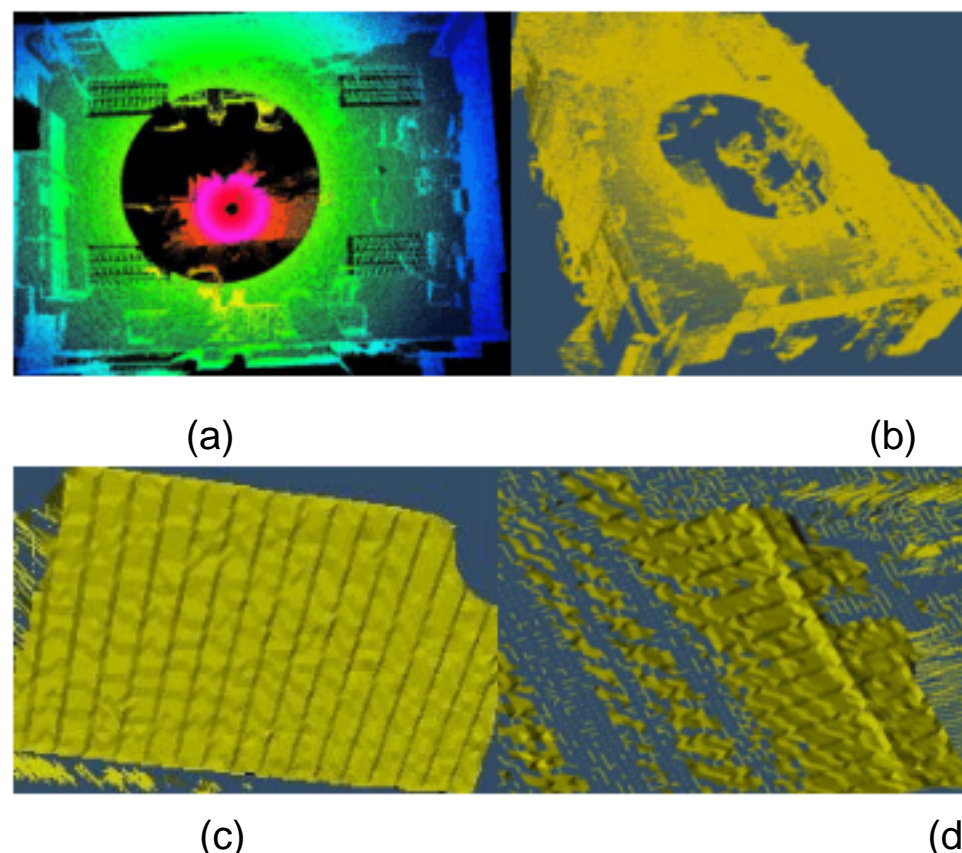
图(5)(a) 实验室场景的距离图像 (b)MC 建模俯视图 (c)MC 建模底部视图

室内场景的建模需要突出细节部分，并且单站点扫描获取的数据量相对于大规模场景配准后的数据量小，因此本文采用 Delaunay 算法对场景的点云数据快速建模。此算法的主要思想是：首先定义一个凸壳，包含所有的离散点，在凸壳内初始化一个三角网；然后插入新的离散点 P，插入时需要判断 P 所在的三角网是否在凸壳内，在同一凸壳内的合并成新的三角形，最后进行递归迭代运算，直至点集中的所有离散点都处理完毕。用此方法构成的三角形的外接圆不包含其他数据点，并且三角形的最小内角之和最大，这样就不会产生狭长的三角形和尖锐的三角形，构成的三角形多为等角或等边三角形。用下图 (6) 所示此过程：



图（5）Delaunay 算法过程

本文选用 VTK的 `vtkDelaunay2D` 类实现 Delaunay 三角剖分建模。`vtkDelaunay2D` 类主要解决面绘制问题，输入的三维点集，在 XY平面上构建三角形，忽略点的 z坐标，类似于地学上的三维建模，根据地形特点先在二维平面上构建三角网，然后给每一个点赋予 z值（高程值），得到三维模型。Delaunays三角剖分建模可以实现场景的快速建模，下图（7）是实验室场景的 Delaunays 建模效果图。



图（7）(a) 实验室场景的距离伪彩色图像； (b) Delaunay 三角化后的效果图；
(c) 墙壁的局部放大图； (d) 初始值选取对模型表面的影响

4 模型简化

距离图像含有大量的点云数据，经过 Delaunay 三角剖分建模后生成许多三角形的三角网，本文首先根据物体距离扫描仪的远近设定阈值提取感兴趣的目标物，如图 8(a) 所示的标定板，然后利用 VTK的`vtkDecimatePro` 类精简模型。本文通过反复实验，证明设定简化率为 0.9 时三维模型简化效果最好，如图 8(b) 所示。

VTK的`vtkDecimatePro` 算法的主要思想是：保持 Delaunay三角剖分建模后模型拓扑关系和几何模型不变，减少三角网中的三角形数目。主要步骤是：

1. 根据点的局部几何和拓扑特征关系将点简单分类，并且判断点是否可以删除；

2. 从备选的删除点集中确定被删除的顶点，并且删除该点和经过该点的所有三角形。通过该顶点到局部平面的距离值或者是顶点到局部边的距离值来确定需要被删除的点，如果该距离值小

于设定的阈值，则删除该点和通过的三角形，否则保留该点。 3. 删除顶点和同该顶点相连的三角形后，会留下空白区域，先用初始化的分割平面将空白区域分割成两个子区域，如果子区域内的点集分布在切割平面内，需要重新递归进行分割，填补该空白区域。

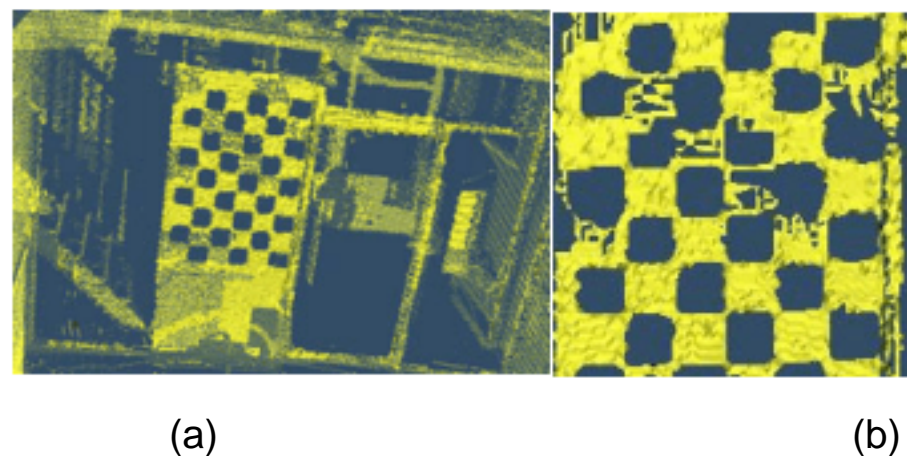


图 (8) 实验室场景 Delaunay 三角剖分建模效果图 (b) 模型简化后的效果图

5 总结

本文在自主开发的三维激光扫描系统 AX-LMS20基础上，开发了用于室内场景三维快速建模的采集系统，利用三维可视化 VTK类库，将预处理后的点云数据进行三角化建模和模型简化，生成的模型满足场景可视化、数据存档、虚拟漫游和测量分析的需求。本文以后的工作重点是全自动地将场景纹理全景图映射到距离图像上，构建具有真实感的三维模型。

参考文献:

- [1] T.A. Foley. Interpolation to scattered data on a spherical domain. In M. Cox and J. Mason, editors, Algorithms for Approximation II , pages 303 – 310. Chapman and Hall, London, 1990.
- [2] W. Lorensen and H. Cline , Marching cubes: A High Resolution 3D Surface Reconstruction Algorithm Computers Graphics, Vol. 21, No. 4, July 1987, pp. 163 – 170.
- [3] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald and W. Stuetzle Surface Reconstruction from Unorganized Points Proc. SIGGRAPH ' 92, 1992, 71 – 78.
- [4] G. Turk and M. Levoy Zippered Polygon Meshes from Range Images Proc. SIGGRAPH ' 94, 1994, pp. 311 – 318.
- [5] A.Kalvin and R.Taylor, Superfaces:Polygonal Mesh Simplification with Bounded Error, IEEE Computer Graphics and Application , Vol. 16, No. 3, May 1996, pp. 64 – 77.
- [6] W. Schroeder, J. Zarge and W. Lorensen, “ Decimation of Triangle Meshes ” Computer Graphics , Vol. 26, No. 2, July 1992, pp. 65 – 70.
- [7] H.Hoppe, Progressive Meshes, Pro.SIGGRAPH ' 96, August 4-9, 1996, pp.99-108.
- [8] M. Garland and P. Heckbert, “ Surface Simplification Using Quadric Metric ” Proc. SIGGRAPH ' 97Aug. 1997, pp. 209 – 216.
- [9] P. Lindstrom and G. Turk, “ Fast and Memory Efficient Polygonal Simplification ” Proc. IEEE Visualization , ' 98 October 1998, pp. 279 – 286, 544.
- [10] Aiwu Zhang ,, Shaoxing Hu b, Yulin Chen a, Haiyun Liu b, Fan Yang a, Jia Liu FAST CONTINUOUS 360 DEGREE COLOR 3D LASER SCANNER , 2008, isprs.
- [11] K.Pervozelz, A.Nuechter, H.Surmann, andJ.Hertzberg. Automatic Reconstruction of Colored 3D Models. In Proc. Robotik, (2004).
- [12] Dias P. 3 Dimensional Reconstruction of Real World Scenes Using Laser and Intensity Data. PhD Thesis, University of Aveiro, 26 September 2003.
- [13] 陈玉林，张爱武，快速中距离三维扫描仪设计和控制

-
- [14] 杨丽萍, 张爱武, 基于 VTK 的室外场景三维重建, [系统仿真学报](#) 22006 /18 /z2
- [15] 徐苏维, 王军见, 基于 VTK 的 Delaunay 三角网生成研究测绘与空间地理信息 [2005 /28 /5](#)