

# 高精度结构光远距 3D 扫描仪

孟馨, 马越, 钱峰, 张鹏

(长春理工大学 中山研究院, 广东 中山 528400)

**摘要:** “高精度结构光远距 3D 扫描仪”改进投影仪的光学结构以及重建算法, 使得重建距离可达 4-5 米, 且实现 0.01mm 级的精度。该系统通过 Nvidia Xavier 计算单元连接相机和投影仪, 实现端到端的投影图像的采集和物体重建。选用小型显示屏安装在系统上, 呈现重建结果。另外系统的供电单元为小型蓄电池, 更加方便户外采集数据。

**关键词:** 结构光; 3D 扫描仪

## High-precision structured light long-distance 3D scanner

Meng Xin, Ma Yue, Qian Feng, Zhang Peng

(Changchun University of Science and Technology Zhongshan Research Institute)

**Abstract:** "High-precision structured light long-distance 3D scanner" improves the optical structure of the projector and the reconstruction algorithm, so that the reconstruction distance can reach 4-5 meters, and the accuracy of 0.01mm can be achieved. The system connects cameras and projectors through Nvidia Xavier computing units to achieve end-to-end projection image acquisition and object reconstruction. A small display is selected to be installed on the system to present the reconstruction results. In addition, the power supply unit of the system is a small battery, which is more convenient for outdoor data collection.

**Keywords:** structured light; 3D scanner

## 1 传感器设计背景和应用价值

**设计背景:** 高精度结构光远距 3D 扫描仪能用在工业设计制造、医疗卫生、科学教育、艺术设计、人工智能等领域。此系统实现高精度结构光的三维重建, 能远距离投射条纹, 同时可对大型物体进行三维重建。重建结果呈现在扫描仪上的显示屏中, 三维重建图能够以 AR 的形式展示。扫描仪能实现点云配准、测算重建数据、识别人脸、导出结果的功能。

**应用价值:** 随着现代微电子技术、微机电系统、纳米材料、无线通信技术、信号处理技术、计算机网络计算、无线充电技术、能量收集技术及快速充电技术等迅速发展, 传感器技术的创新和升级受到包括学术界、军界及工业界的广泛关注, 成为信息获取重要和基本的技术之一。在国内市场, 上海天筹引进的国外品牌传感器收到很多用户青睐, 的传感器技术为工业生产发展提供了巨大的帮助。传感器技术是将非电量的被检测量转换成便于检测和处理的电学量的技术。传感器如同能感知外界信息的人造器官。人脑通

过五官从外界环境中获取信号，计算机必须通过传感器收集各种信号才能工作。传感器不仅能在人不能到达或对人体有危险的场所起到人的感官作用，而且还能感受到人的感官不能感受到的外界信息，从而丰富和加深人对外部世界的认识。

## 2 创新点与优势

**2.1 远距离成像：**在远距投影系统中投影镜头选用反远型双高模型作为初始结构，实现小视场远距离成像；选用激光作为光源，因为激光具有单色性、单一方向性、相干性的特点。

**2.2 标定一体化、集成化：**采用 Nvidia Xavier 计算单元作为上位机，将投影仪投射光栅、相机捕捉光栅等操作集成一体化，投影仪标定、相机标定、系统标定在此设备上可以同时完成，并生成标定参数，方便用户使用。选择小型蓄电池作为电源，增加系统的便携性。

**2.3 点云初始配准、精准配准：**利用 Nvidia Xavier 计算单元为数据处理提供算力支持。根据点云去噪、离群点去噪、特征提取、ICP 配准等算法完成点云滤波、特征提取和 ICP 配准。三维重建图能够以 AR 的方式展现在用户面前，更加直观、清晰。

## 3 实现方案简介

### 3.1 设计原理

高精度结构光远距 3D 扫描仪由 Nvidia Xavier 计算单元、CCD 摄像机、改进的 DLP 投影仪、小型蓄电池和小型显示屏组成。“高精度结构光远距 3D 扫描仪”改进投影仪的光学结构以及重建算法，使得重建距离可达 4-5 米，且实现 0.01mm 级的精度。该系统通过 Nvidia Xavier 计算单元连接相机和投影仪，实现端到端的投影图像的采集和物体重建。选用小型显示屏安装在系统上，呈现重建结果。另外系统的供电单元为小型蓄电池,更加方便户外采集数据。

### 3.2 设计方法

高精度结构光远距 3D 扫描仪由 Nvidia Xavier 计算单元、CCD 摄像机、改进的 DLP 投影仪、小型蓄电池和小型显示屏组成。系统工作具体步骤如下：

(1) 标定：包括相机标定、投影仪标定和系统标定。Nvidia Xavier 计算单元控制投影仪向标定板投射格雷码图像，相机依次采集图像，传到 Nvidia Xavier 计算单元进行解码，重复 10 次，计算相机和投影仪的内参、外参。

```
--- decode_pattern START ---
Decode: Gray Robust
Converting gray code to binary
--- decode_pattern END ---
Camera Calib results:
- reprojection error: 0.152372
- K:
[2120.91304158047, 0.360.6858203843182;
0.2120.770737016361, 244.8769936461637;
0.0, 0.1]
- kc: [-0.1802359768605221, -0.684653352045188, -0.002707756574086174, -0.001189222738463412, 0]
Projector Calib results:
- reprojection error: 0.136746
- K:
[1539.376186993281, 0.499.8645291504903;
0.1536.03920921025, 633.9838262329954;
0.0, 0.1]
- kc: [-0.08042922635996781, 0.4053293774666112, -0.0007683705241556235, -0.007425786560449602, 0]
Stereo Calib results:
- reprojection error: 0.157424
- R:
[0.9719243733515192, -0.01046911343895588, 0.2350604393534971;
0.003387190751652624, 0.9995286714892929, 0.03051166677946369;
-0.2352690787674163, -0.02885883806828305, 0.971501738568326]
- T:
[-136.9468482414502;
-143.9187271152191;
5.483784159562722]
Saved E:/mxbiaodingzhaopian/second/model.txt
Saved E:/mxbiaodingzhaopian/second/cam_00.txt
```

图1 标定结果

(2) 采集：投影仪向被测物体投射一组频率为 28、26、24 的正弦光栅图像，CCD 相机拍摄经被测物体形状调制而变形的光栅图像，拍摄得到的光栅图像传输到 Nvidia Xavier 计算单元,利用相位计算方法得到绝对相位，根据预先标定的系统参数和相位与三维坐标映射关系，从绝对相位计算出被测物体表面的三维点云数据。

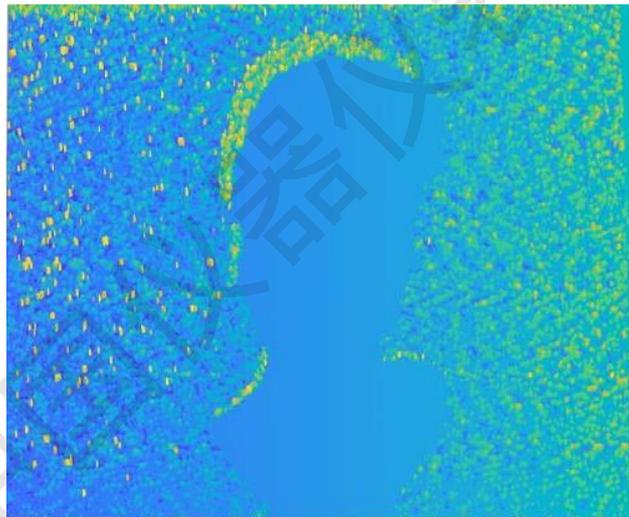


图2 三维相位图

(3) 点云处理：在 Nvidia Xavier 计算单元中对源点云进行滤波、特征提取、配准，完成拼接得到目标点云和三维重建效果图。



图3 三维重建效果图

(4) AR 呈现：使用 SIFT 算法进行识别，提取特征点，并用特征向量对特征点描述，接着当前视图的特征向量与目标对象的特征向量进行匹配，根据识别出来的原目标和帧图像匹配关系得到变化矩阵，来显示三维物体，实现跟踪。

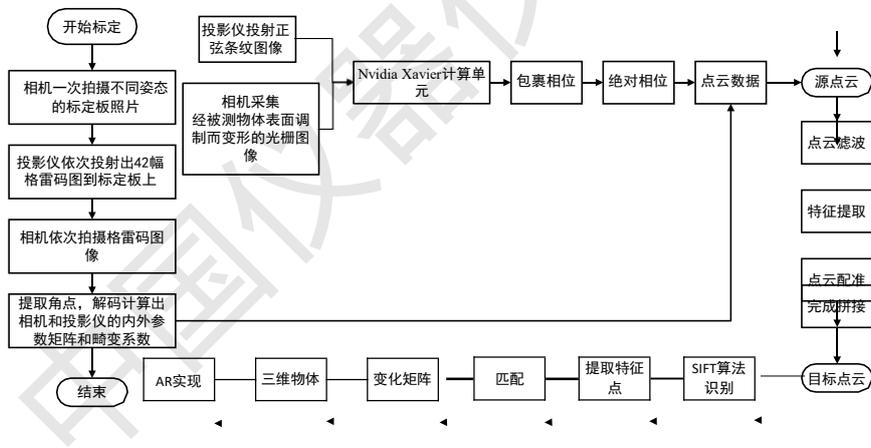


图4 工作流程图

改进的 DLP 投影仪：激光发出的光通过色轮将光分成 RGB 三色投射在 DMD 芯片上，最后反射经过投影镜头中的反远型双高模型，在屏幕上成像。

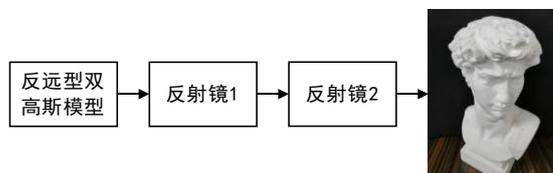


图5 投影仪内部改进流程图

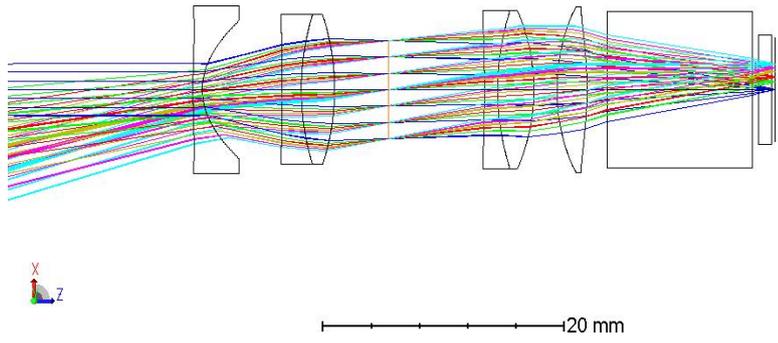


图6 反远型双高斯镜头模型

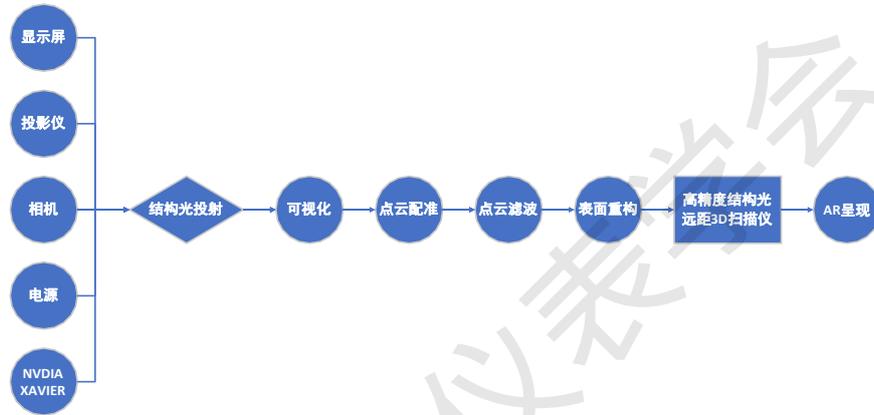


图7 软硬件架构图 (a)

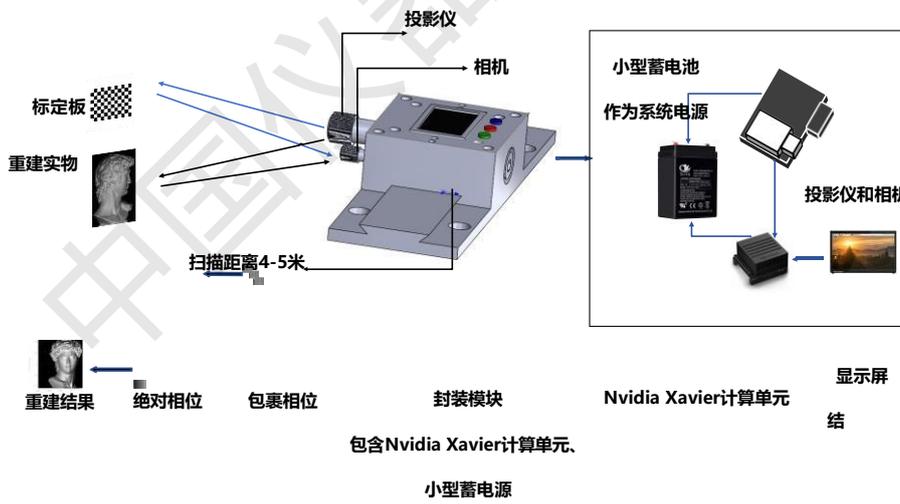


图7 软硬件架构图 (b)



图7 软硬件架构图 (b)

高精度结构光远距3D扫描仪功能

- 1、**自动化、一体化标定**：投影仪标定、相机标定、系统标定在此设备上可以同时完成，并生成标定参数。
- 2、**显示三维图，三维尺寸**：在显示屏中显示三维重建效果图及相应的三维尺寸。
- 3、**点云初始配准、精准配准**：不同视角测得的点云数据进行多视拼接，生成配准后的全方位三维重建图。
- 4、**测算重建误差**：生成三维重建效果图，与真实数据做对比，计算重建误差。
- 5、**人脸识别**：重建人脸，提取人脸面部特征，识别面部表情。
- 6、**AR方式呈现**：将生成的三维效果图，呈现在真实世界中，可进行动态旋转平移操作。
- 7、**逆向测算数据**：根据生成的三维重建图，逆向测算重构物体尺寸，再现实物设计过程。

图8 功能示意图 (a)

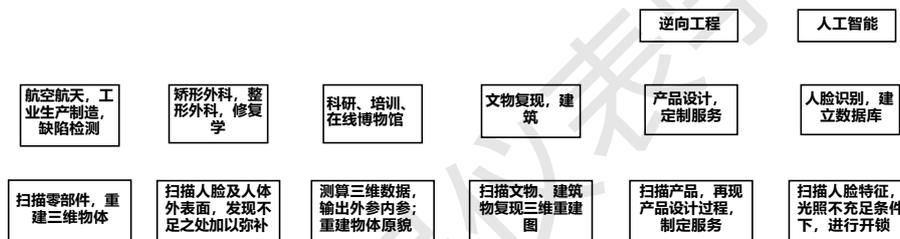


图8 功能示意图 (b)

### 3.3 实验验证过程



图1 实物搭建图

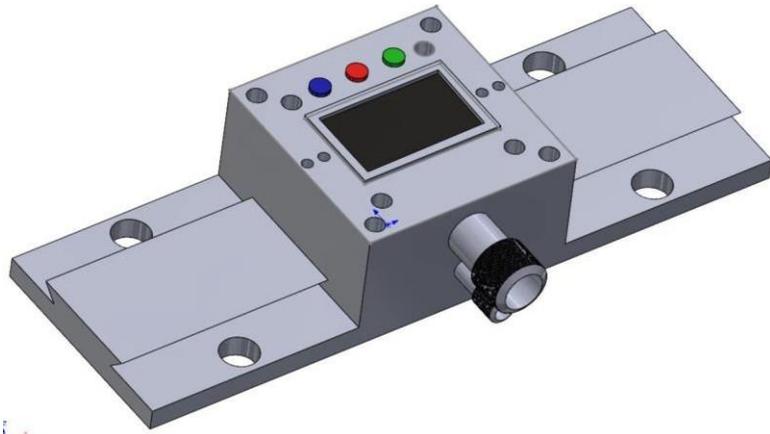


图2 最终成果模型图 (a)

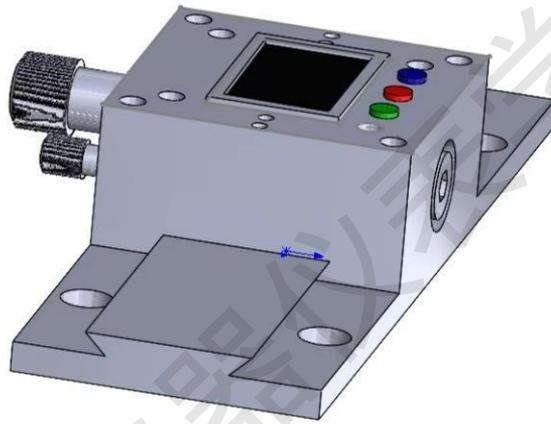


图3 最终成果模型图 (b)

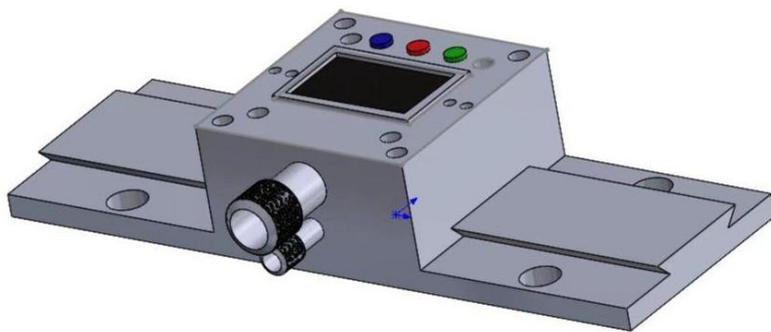


图4 最终成果模型图 (c)