
基于 Rk3588 的点云投影系统

摘要

随着三维数字化技术的飞速发展，文物数字化保护与移动场景建模的需求愈发迫切。但传统三维重建系统受限于设备繁杂、成本居高不下等问题，严重阻碍了技术的普及应用。据行业报告显示，超 60% 的文化机构因设备成本门槛，无法开展常规数字化工作。

为突破这一瓶颈，本研究提出高度集成的点云投影系统解决方案。该系统创新性地采用瑞芯微 RK3588 开发板作为核心平台，实现 RGB 图像采集、三维点云建模与全息投影的一体化集成。

硬件架构上，系统精简传统多设备协作流程，将图片采集、实时点云计算及全息展示功能集成；算法层面，通过优化点云生成技术与硬件加速策略，建模效率较传统方案大幅提升。全息展示基于光学折射原理，采用简易反射装置实现 360° 裸眼观测，并高保真呈现物体表面纹理。

该系统适用于文物数字化、移动场景三维建模等领域，具备“拍摄即建模，建模即展示”的技术优势，为轻量化、便携式三维重建与可视化提供了可行方案。实验证明，其在保证精度的同时，显著降低了设备成本与操作复杂度，具有较高实用价值与推广潜力。

第一部分 作品概述

1.1 功能与特性

(1) 三维点云建模

三维点云建模功能依托 RK3588 芯片的算力，可在开发板上直接运行优化算法，将上传的视频文件高效转换为三维点云模型。这一过程无需依赖传统 PC 端处理环节，大幅简化了建模流程并提升了实时性。

(2) 全息投影展示技术

全息投影展示技术采用光学折射原理^[2]，通过定制化反射装置将点云数据转化为 360° 裸眼可视的全息影像。该技术能精准保留物体表面的纹理细节，让三维模型的呈现既直观又富有真实感。

1.2 应用领域

(1) 文物数字化与文化遗产保护

在文物数字化与文化遗产保护领域，该系统支持通过网页上传视频，配合点云生成算法，能够快速构建文物三维模型^[6]。这一特性尤其适用于脆弱文物的非接触式扫描，有效避免了传统接触式扫描可能对文物造成的损害^[8]。同时，借助点云与影像融合技术，系统可生成极具沉浸感的展示模型，为文物的数字化呈现和传播提供了更优方案。

(2) 商品建模展示

电商与工业设计领域，该系统凭借单板集成方案，大幅简化了商品三维建模流程。以实际应用为例，只需用相机对商品进行多角度拍摄，系统便可依托 RK3588，实时处理点云数据，快速生成可交互的 3D 模型^[4]。这类模型支持 360° 旋转展示及细节放大查看，将其嵌入电商平台后，能显著降低商品建模的操作复杂度与实施门槛。

(3) 教育娱乐与虚拟现实

在教育与娱乐领域，该系统借助全息投影技术打造沉浸式体验，为教学与互动场景注入新活力^[1]。在教育场景中，比如将历史文物、人体解剖结构的点云模型转化为全息影像，能让学生从多角度细致观察，直观理解抽象知识；而系统的轻量化设计使其能灵活适配移动场景，像户外科普展览中可实现实时三维建模与投影，让公众近距离参与互动，有效提升参与感与体验感。

1.3 主要技术特点

基于 COLMAP 的高精度点云生成算法

该点云生成算法核心在于采用 COLMAP，一个基于多视图几何(Multi-View Geometry)的通用三维重建工具^[7]。COLMAP 通过以下关键步骤实现高精度点

云的生成：

特征提取与匹配：从输入的二维图像中自动检测并匹配特征点，这些特征点是后续三维重建的基础。

运动恢复结构（SfM）：通过分析多张图像中特征点的对应关系，精确估算出相机在不同视角下的位置和姿态，并生成场景的稀疏三维点云。此阶段的关键在于几何验证（Geometric Verification）和捆集调整（Bundle Adjustment），它们通过优化相机参数和三维点坐标，极大地提升了重建的精度和鲁棒性。

多视图立体视觉（MVS）：在 SfM 生成的稀疏点云和相机参数的基础上，COLMAP 进一步利用多视图立体匹配技术（如 PatchMatchStereo）计算每个像素的深度信息，进而生成密集、高质量的三维点云。这使得重建的点云能够在大范围场景和复杂物体表面上表现出高精度和完整性，即使在纹理较弱、遮挡严重或深度变化剧烈的场景中也能取得良好效果。

COLMAP 的这种分步优化和精细化处理流程，确保了从二维图像到高精度三维点云的有效转换，为后续的三维应用奠定了坚实的基础。

1.4 主要性能指标

表 1 性能指标

指标	参数	说明
总重建时间	小规模物品 (20-50 张图像): 数分钟到 1-5 分钟	在 RK3588 这类嵌入式平台上，大规模场景的离线重建时间会相对较长，但其优势在于边缘部署和特定场景的快速处理能力。
	中等规模物品 (20-80 张图像): 4-7 分钟	
处理图片数量	最多 80 张	上传图片数量越高占用内存越多
上传图片像素	1074*742	图片像素越高，提取的特征点的数量越多，系统运行处理的时间以及占用运行内存越大

1.5 主要创新点

（1）硬件架构集成化与算力优化

单板集成多模态处理：利用 RK3588 开发板的算力，将传统需多设备协作的 RGB 图像采集、点云建模^[5]与全息投影流程整合至单一硬件平台，显著降低系统复杂度与成本。

实时性提升：利用 COLMAP 点云生成算法，实现 RGB 数据到三维点云的实时转换，推理速度较纯 CPU 方案有提升，满足移动场景低延迟需求。

（2）全息投影技术的轻量化与便携性

简易光学装置设计：采用折射反射技术替代复杂光学元件，通过低成本反射装置实现 360° 裸眼观测^[3]，突破传统全息设备体积大、成本高的限制。

动态适应性：结合 RK3588 的 8K 视频硬编解码能力，优化全息影像的分辨率与流畅度，适配不同环境的光学投影需求。

（3）端侧一体化 workflows 创新

“拍摄-建模-展示”闭环：通过 RK3588 的多任务调度能力，实现从数据采集到全息展示的无缝衔接。

算法与硬件协同优化：针对点云数据特性，采用 colmap 等算法，提升建模精度。

1.6 设计流程

（1）方案设计

本系统以 RK3588 核心板为中心，由电源供电模块提供稳定电力支持，系统设有视频上传网页作为交互接口，可接收来自手机或电脑的数据输入。RK3588 处理生成的 3D 点云文件及全息投影视频，通过 MIPI 电容屏以及全息投影装置实现三维可视化展示，形成从数据采集处理到全息呈现的闭环工作流程。

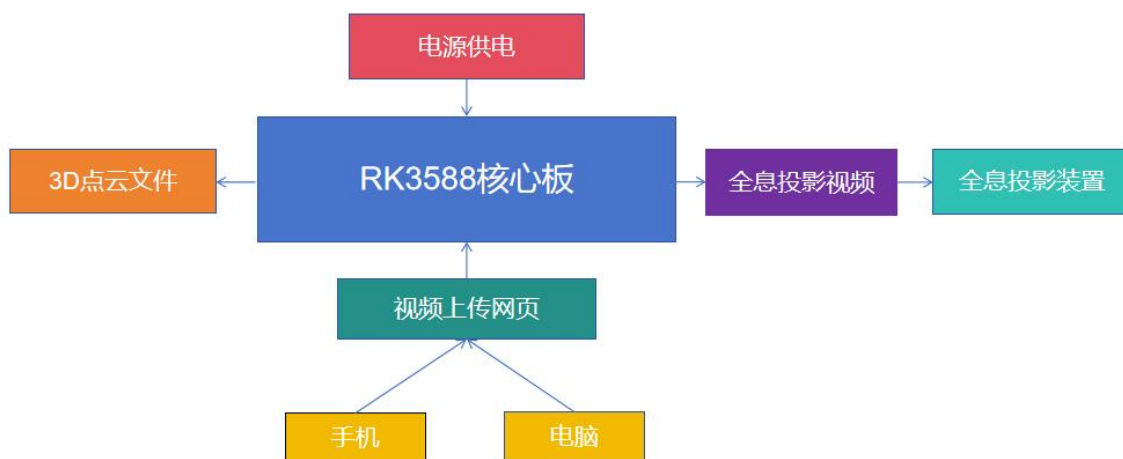


图 1 整体方案框图

（2）硬件开发

本系统采用 RK3588 核心板作为主控单元，通过精心设计的硬件架构实现各功能模块的协同工作。在硬件连接方面，RK3588 核心板通过 MIPI 接口与显示

屏建立高速数据传输通道，确保图像输出的实时性和稳定性；同时通过 UART 和 SDIO 接口分别连接 WiFi 蓝牙模块，实现无线通信功能。中央处理单元采用多核异构计算架构，为点云处理和全息渲染提供强大的算力支持。整个硬件系统采用紧凑型设计，在保证功能完整性的同时最大限度地降低了功耗和体积，为便携式应用场景提供了可靠的硬件基础。

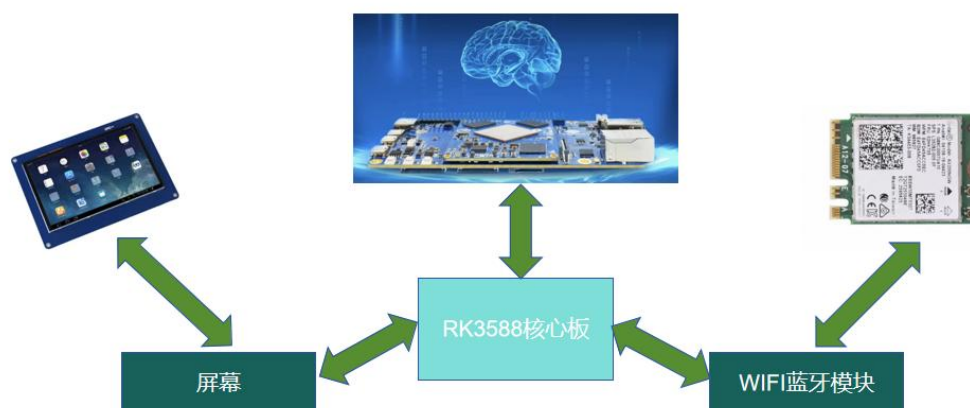


图 2 系统硬件

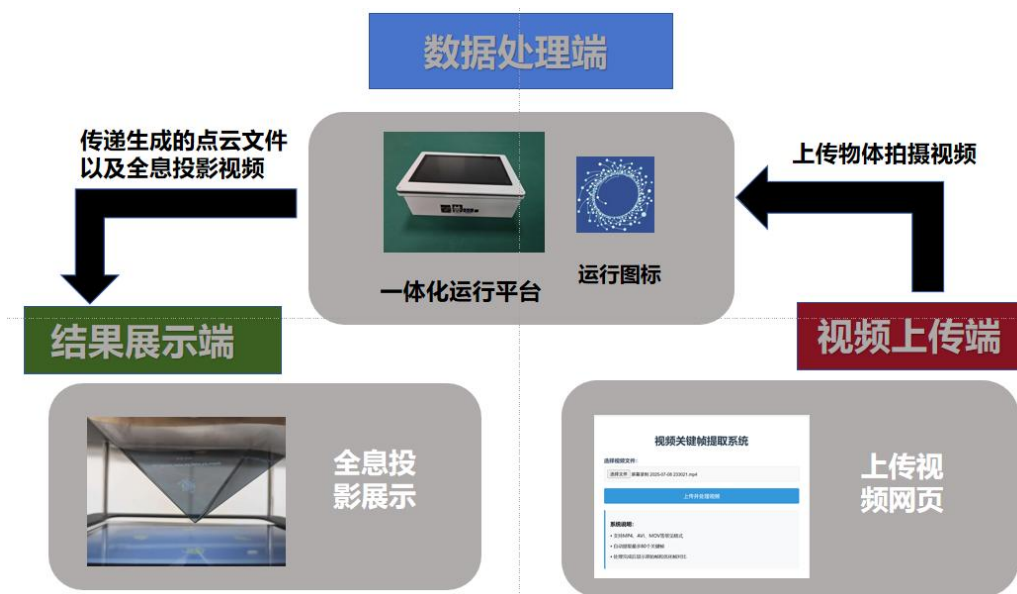
(3) 算法

本系统在算法层面主要采用 COLMAP 三维重建算法实现高精度点云建模。该算法通过特征提取与匹配（SIFT/SURF）、多视图几何计算、光束平差优化（Bundle Adjustment）等核心步骤，将采集的二维图像序列转化为三维点云数据。

第二部分 系统组成及功能说明

2.1 整体介绍

本项目主要分成视频上传（网页）端，数据处理（点云处理盒）端，结果展示（MIPI 电容屏、全息投影装置）端三大部分，其整体框架如下图：



作为系统核心的点云处理盒对网页上传的视频进行多维度数据采集，进而生成点云文件与全息投影视频；随后通过 MIPI 电容屏实现 3D 点云文件的可视化展示，同时借助全息投影装置对生成的 3D 文件进行投影呈现。这一系列操作不仅强化了交互性与可视性，更构建起“硬件 - 软件 - 服务”一体化的全流程架构。

2.2 硬件系统介绍

2.2.1 硬件整体介绍

在系统硬件架构中，主要包含数据采集端与结果展示端两大核心模块。硬件整体以 RK3588 作为主控核心，负责处理由 WiFi 蓝牙模块上传的物品视频数据；同时通过 MIPI 接口连接显示设备，实现三维模型的可视化呈现，形成从数据接收、处理到结果展示的完整硬件链路。

2.2.2 机械设计介绍

本系统机械结构采用模块化设计理念，通过精巧的结构设计实现了功能性与美观性的统一。主体外壳采用 3D 打印工艺制造，尺寸为 187mm×124mm×62mm，在充分利用内部空间的同时，满足了便携性需求。

主体外壳结构设计上主要分为三个关键部分：

前部面板集成 7 英寸高透光率触控屏，采用嵌入式安装方式，确保面板整体平整度；

采用可拆卸式外壳设计，进一步提升携带便利性；
侧方接口区配备 Type-C 电源接口、HDMI 输出接口及 USB3.0 数据接口，满足多样化连接需求。



图 4 外壳设计图

全息投影装置采用高硬度全息 ABS+PC 复合材料打造，不仅具备出色的结构稳定性与耐用性，更能突破光线环境限制 —— 在强光、弱光等任意光线下均能呈现清晰锐利的全息投影效果。其外观设计与主体结构风格统一，兼顾了视觉美感与便携属性，可随设备灵活移动，适配各类场景的全息展示需求。

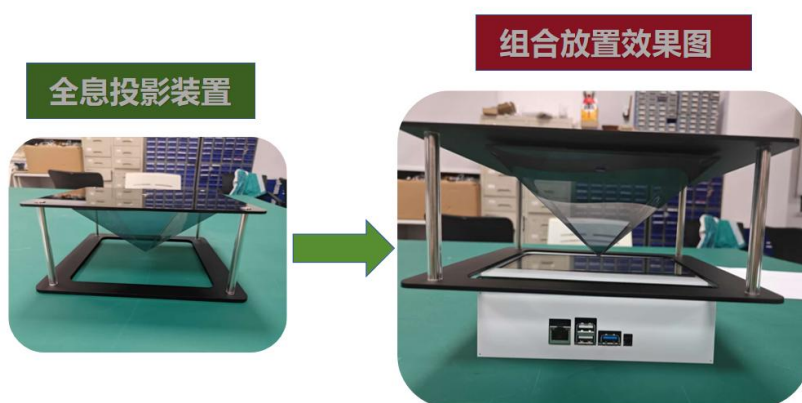


图 5 全息投影装置

2.3 软件系统介绍

2.3.1 软件整体介绍

本系统软件架构采用模块化设计，构建了从数据采集到全息展示的完整处理流程。系统以板卡为核心处理单元，通过网页端实现用户交互与数据传输。软件工作流程主要包含三个关键环节：首先，网页端负责将传输 GIF/MP4 等格式文件生成关键帧并至板卡；其次，板卡运行 COLMAP 算法进行关键帧提取与三维建模，通过 Open3D 库实现多视角渲染，将生成的点云数据转换为四分镜样式图片序列；最后，系统自动合成全息投影视频并输出至显示装置，确保数据传输的实时性和稳定性，软件设计充分考虑了嵌入式平台的算力特性，在算法加速、内存优化等方面做了针对性设计，使系统能够在资源受限环境下高效完成从二维图像到三维全息展示的完整转换。

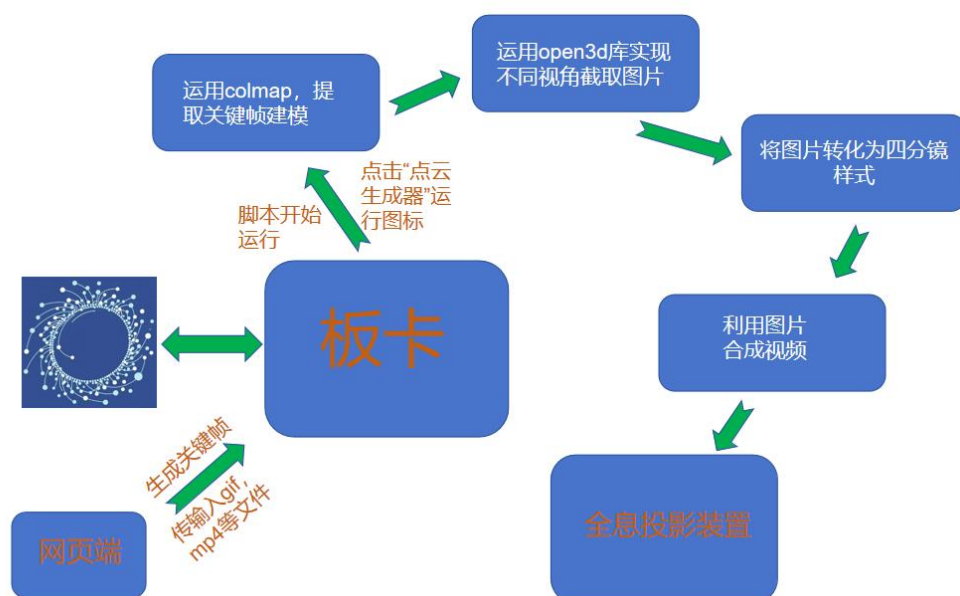


图 6 系统软件框图

2.3.2 软件模块介绍

（1）视频关键帧提取系统

视频关键帧提取系统，在这个界面中，用户只需简单上传一段视频，系统便能自动启动处理流程，精准完成关键帧的提取工作。整个操作过程极为便捷，无需用户进行复杂的参数设置或额外干预，从视频上传到关键帧呈现，全程由系统把控。



图 7 网页端视频上传提取图

(2) 点云查看器

将所需的所有代码文件进行了整合成桌面运行图标点云查看器,为用户打造了较为简便的操作体验。点击点云查看器,系统便会自动启动全套处理流程生成 3D 点云文件以及全息投影视频,让三维数据以更直观、立体的方式呈现,并且可以通过菜单页面选择播放模式。

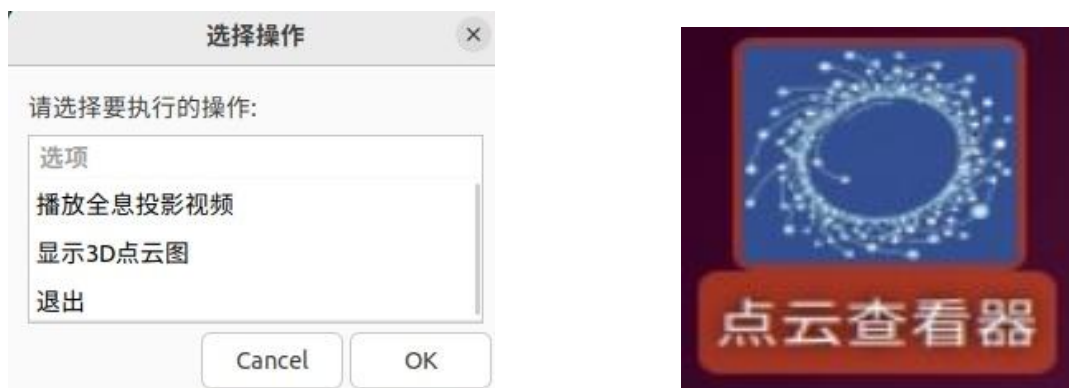


图 8 点云查看器图标以及运行菜单

第三部分 完成情况及性能参数

3.1 整体介绍

电脑屏幕上显示的是网页版的关键帧提取系统界面，右侧白色 3D 打印盒体构成了点云投影系统的核心组件，在其在装置上方的为黑色全息投影，三者共同构建出一个完整的点云投影解决方案。



图 9 系统整体展示图

3.2 工程成果

3.2.1 机械成果

完成点云投影系统三维模型的构建后，已打印出 3D 外壳，安装效果如下图所示。

全息投影装置的设置与搭建工作已完成，效果如下图所示。

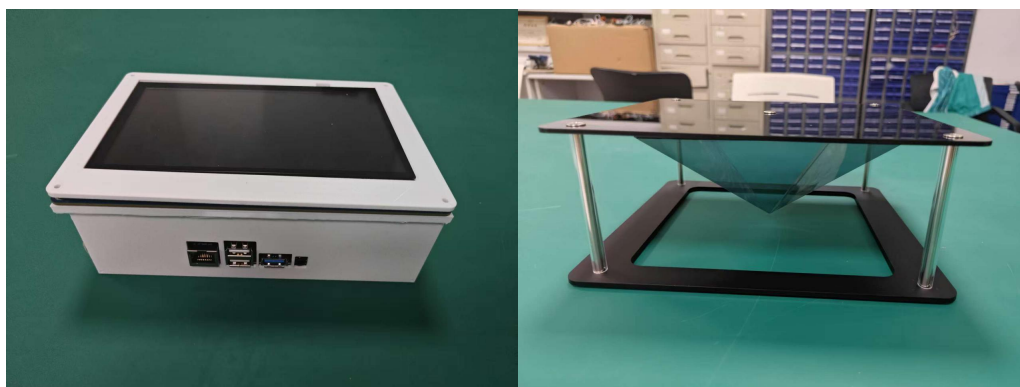


图 10 外壳以及全息投影装置

3.2.2 软件成果

在网页端的视频关键帧提取系统界面中，用户只需点击“选择文件”选定目标视频，随后点击“上传并处理视频”按钮，系统便会自动完成视频的处理流程，成功提取出其中的关键帧。



图 11 网页端视频上传页面

视频关键帧提取完成后，系统将自动跳转至视频信息分析页面。该页面会清晰展示原视频的相关信息（如帧数、分辨率等）以及提取出的关键帧信息（如关键帧数量、关键帧间隔等）。若需重新上传视频，用户只需点击页面中的“返回上传页面”按钮，即可快速跳转回上传界面，操作便捷高效。

视频处理完成: 屏幕录制 2025-07-10 015205.mp4

已提取 80 个关键帧 (系统上限: 80 帧)

视频信息

分辨率: 830×630
帧率: 30.03 FPS
总帧数: 609
处理时间: 2.79 秒

关键帧提取结果

原始帧保存: 80
处理后帧保存: 80
关键帧间隔: 8 帧

返回上传页面

图 12 网页端视频信息分析页面

在屏幕上点击点云查看器图标后，系统将自动运行相关脚本，随即生成 3D 点云图与全息投影系统的展示界面。并且可通过弹出的菜单页面，根据需求灵活选择不同的查看模式或操作选项，轻松实现交互体验。

点云查看器



图 13 点云查看器页面

3.3 特性成果

3.3.1 3d 点云建模效果展示

左图为上传物体视频截图，右图为生成的 3d 点云建模图。



图 14 实物图以及建模图

经对比分析可见，点云投影系统具备两项优势：一方面，能够对物品进行较为完整的建模并清晰展示其三维形态；另一方面，拥有一定的色彩还原能力，可在呈现物品结构的同时，较好地再现其原本的色彩特征。

3.3.2 全息投影视频效果展示

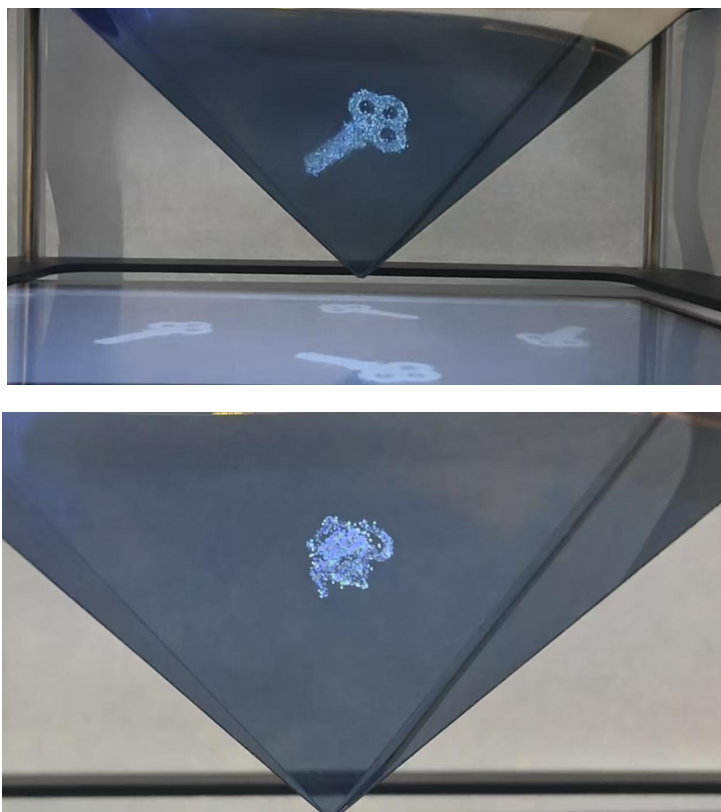


图 15 全息投影图

经实验验证，全息投影系统具有较为优异的展示性能：物体建模的可见度高，细节呈现清晰，能实现“即拍即展示”的功能特性。

表 2 性能指标

指标	参数	说明
建模完成度	整体性完成性高，颜色体现度尚可	色彩越鲜艳的物体颜色建模体现度越高
建模所需时间	5-6 分钟	图片像素越高，所需时间越高
全息投影可观性	可在各种光线环境下进行投影	光照强度较暗的环境效果更佳
上传视频类型	支持 mp4、gif、mov、avi 等多种模式	上传视频时长和提取关键帧数目成正相关关系

第四部分 总结

4.1 可扩展之处

(1) 3D 点云建模文件存在较多噪点。对于部分结构紧凑的物体，其生成的 3D 点云文件中噪点明显偏多，这在一定程度上影响了模型的整体观赏性。

(2) 对上传视频的要求较高。上传的视频需预先进行抠图处理，若视频背景较为复杂，未经过有效处理时，最终的建模效果会出现明显劣化。

(3) 处理速度偏慢。当上传视频的像素过高时，系统提取出的特征点数量会相应增多，进而导致整体处理时间延长。

4.2 心得体会

参与本次全国大学生嵌入式大赛的经历，让我们小队在实践能力与嵌入式开发水平上获得了显著提升。在作品开发过程中，团队遭遇了诸多问题与挑战，但每一次调试、每一轮 `debug` 的过程，都化为了我们不断积累的经验沉淀。这些在实战中淬炼出的宝贵财富，不仅是本次比赛的重要收获，更将成为我们在嵌入式开发道路上持续深耕的动力。未来，我们会带着这份成长与感悟，在技术探索中不断精进，努力为社会的创新发展贡献属于自己的力量。

第五部分 参考文献

- [1] 朱珂,张莹,李瑞丽.全息课堂:基于数字孪生的可视化三维学习空间新探[J].远程教育杂志,2020,38(04):38-47.DOI:10.15881/j.cnki.cn33-1304/g4.2020.04.004.
- [2] 王洁.全息投影技术的原理解析与应用展望[J].现代商贸工业,2020,41(22):156-158.DOI:10.19311/j.cnki.1672-3198.2020.22.075.
- [3] 谢炜杰.全息投影技术原理分析及其前景展望[J].现代商贸工业,2019,40(10):195-196.DOI:10.19311/j.cnki.1672-3198.2019.10.091.
- [4] 夏溢涵,王芳君,张乘风.全息投影技术在展示设计中的应用研究[J].家具与室内装饰,2014,(10):16-17.DOI:10.16771/j.cnki.cn43-1247/ts.2014.10.018.
- [5] 陈永辉.基于激光扫描的三维点云数据处理技术研究[D].中国科学技术大学,2017.
- [6] 刘昊.基于点云的古建筑信息模型(BIM)建立研究[D].北京建筑大学,2014.
- [7] 王俊,朱利.基于图像匹配-点云融合的建筑物立面三维重建[J].计算机学报,2012,35(10):2072-2079.
- [8] 万国伟.面向建筑物的三维点云生成、增强和重建技术研究[D].国防科学技术大学,2011.