

# 面向教学的激光雷达选通成像演示系统搭建与问题解决

安婷茹, 侯泽宇, 杨旖旎

上海工程技术大学数理与统计学院, 上海

收稿日期: 2025年6月3日; 录用日期: 2025年6月25日; 发布日期: 2025年7月4日

## 摘要

激光雷达技术已广泛应用于无人驾驶、船只航行、远距离探测等领域, 展现出卓越性能。然而, 现有商用激光雷达高度集成化, 难以在教学中直观展示其内部结构和工作原理。为此, 开发一套结构简洁、易于讲解的激光雷达选通成像演示系统具有重要意义。在搭建过程中, 面临反射光收集困难、激光散射严重、测距及选通成像实现复杂等问题。本文提出通过暗室环境减少散射、外接测距芯片提升测距精度、时间选通技术实现成像等解决方案, 并对未来改进方向及现存问题的解决思路进行了探讨, 旨在为激光雷达教学与研究提供有效支持。

## 关键词

激光雷达, 选通成像, 演示系统

# Construction and Problem Solving of a Laser Radar Selective Imaging Demonstration System for Teaching

Tingru An, Zeyu Hou, Qini Yang

School of Mathematics, Physics and Statistics, Shanghai University of Engineering and Technology, Shanghai

Received: Jun. 3<sup>rd</sup>, 2025; accepted: Jun. 25<sup>th</sup>, 2025; published: Jul. 4<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

Lidar technology has been widely applied in fields such as unmanned driving, ship navigation, and long-distance detection, demonstrating excellent performance. However, the existing commercial

**LiDAR is highly integrated, making it difficult to visually demonstrate its internal structure and working principle in teaching. Therefore, it is of great significance to develop a laser radar gating imaging demonstration system that is structurally simple and easy to explain. During the construction process, there are difficulties in collecting reflected light, severe laser scattering, and complex implementation of ranging and gating imaging. This article proposes solutions to reduce scattering in a dark room environment, improve ranging accuracy through external ranging chips, and achieve imaging through time gating technology. It also explores future improvement directions and solutions to existing problems, aiming to provide effective support for laser radar teaching and research.**

## Keywords

**Lidar, Gated Imaging, Demonstration System**

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

当前, 激光雷达技术凭借其成本效益高、测量精度优异以及应用场景广泛等显著优势, 在智能交通、环境监测、工业自动化等领域展现出巨大的应用潜力。然而, 现有商用激光雷达产品普遍采用高度集成化设计, 导致在教学过程中难以直观呈现其内部构造和工作机理。随着激光雷达应用领域的持续拓展, 深入理解其核心工作原理和系统架构的重要性日益凸显。为此, 开发一套结构清晰、原理直观的教学演示系统, 不仅能够满足专业人才培养的需求, 更能为相关技术研究提供有效的实验平台[1]。

### 1.1. 激光雷达商用设备在教学中的痛点

首先是结构封闭性。90%以上产品采用 ASIC 芯片集成, 关键部件不可见。ASIC 芯片集成的局限性: ASIC (Application-Specific Integrated Circuit, 专用集成电路)芯片是为特定应用而设计的集成电路, 其内部结构高度集成且复杂。这种高度集成化的芯片虽然能够实现高效、稳定的信号处理, 但在教学场景中却存在明显的局限性。由于 ASIC 芯片的内部结构被封装在芯片内部, 学生无法直接观察到芯片内部的电路连接、信号传输路径以及各个功能模块的具体布局。这种不可见性使得学生难以直观地理解设备的工作原理, 只能通过抽象的理论知识来推测其功能。例如, 在通信设备中, ASIC 芯片可能集成了复杂的调制解调、信号放大、滤波等功能模块, 但学生无法看到这些模块是如何协同工作的, 也无法通过实际观察来验证理论知识。对教学的影响: 理论与实践脱节: 学生在学习相关课程时, 往往只能停留在理论层面, 难以将理论知识与实际设备的内部结构和工作原理相结合。这种脱节使得学生在面对实际问题时, 缺乏解决问题的直观思路和实践经验。限制创新思维: 由于学生无法直接接触到设备的关键部件, 他们难以对设备进行改进或创新。这种封闭性限制了学生的动手能力和创新思维的发展, 不利于培养学生的工程实践能力和解决实际问题的能力。教学资源受限: 教师在教学过程中也面临挑战, 由于无法展示设备的内部结构, 教学资源只能依赖于教材、课件等抽象的资料, 难以通过实际设备进行直观的教学演示, 降低了教学效果。其二是原理抽象化。信号处理过程形成“黑箱”效应: 在商用设备中, 信号处理过程通常被封装在高度集成的芯片或模块中, 学生只能看到输入信号和输出信号, 而无法了解信号在设备内部是如何被处理的。这种现象被称为“黑箱”效应。例如, 在音频处理设备中, 输入的音频信号经过一系列复杂的处理(如滤波、放大、调制等)后输出, 但学生无法看到这些处理过程是如何实现的。他们只能通过

观察输入和输出信号的变化来推测设备的功能，而无法深入了解设备的内部工作机制。这种“黑箱”效应使得学生对设备的工作原理的理解停留在表面，难以深入掌握信号处理的具体细节。对教学的影响：理解难度增加：由于信号处理过程的抽象化，学生在学习相关课程时，往往需要花费更多的时间和精力来理解设备的工作原理。这种抽象化的理解难度增加了学生的学习负担，降低了学习效率。缺乏直观体验：学生无法通过实际观察和操作来验证理论知识，缺乏对信号处理过程的直观体验。这种缺乏直观体验的学习方式不利于学生对知识的深入理解和记忆，容易导致学生对学习内容的遗忘。限制实践能力：由于学生无法深入了解信号处理过程，他们在面对实际问题时，难以进行有效的调试和优化。这种限制使得学生在实践环节中缺乏解决问题的能力，不利于培养学生的工程实践能力。

其三是交互缺失、学生参与度低。主要原因：设备操作复杂性：商用设备通常是为了满足专业用户的需求而设计的，其操作界面和功能设置较为复杂。对于学生来说，学习如何操作这些设备需要花费大量的时间，这使得学生在课堂上难以快速上手，降低了他们的参与度。缺乏互动性：商用设备的设计往往注重功能的实现，而忽略了与用户的互动性。设备的操作过程通常是单向的，学生只能按照预设的步骤进行操作，而无法与设备进行有效的互动。这种缺乏互动性的操作方式使得学生在学习过程中感到枯燥乏味，降低了他们的学习兴趣。教学模式单一：在传统的教学模式中，教师通常以讲授为主，学生只能被动地接受知识。由于设备的结构封闭性和原理抽象化，教师难以通过实际设备进行互动式教学，这种单一的教学模式也导致了学生参与度的降低。

## 1.2. 选通成像技术简介及系统搭建

选通成像技术的核心在于精确控制激光脉冲发射与接收的时间窗口，其技术优势主要体现在：环境适应性强：有效克服雾霾、烟尘等复杂环境干扰；信噪比优异：显著提升目标信号的检测能力；三维信息丰富：实现高精度的距离分辨和空间重构。在系统架构上的功能指标包括实时三维点云重构能力、强抗干扰性能、教学安全性与操作便捷性；硬件系统构成包括激光发射单元：采用 532 nm 脉冲激光源；信号接收单元：集成 ICCD 探测器与时控选通门；控制核心：基于 FPGA 的同步控制系统；扫描机构：模块化可替换设计(机械/固态)。软件系统架构方面包括时序控制模块、数据处理引擎、智能成像优化算法[2]。

系统需要实现实时三维重构和空间感知，能够获取目标的位置、距离和强度信息。系统需具备高稳定性、抗干扰能力和安全性。系统主要需要进行测距和三维成像功能，如何使反射光进入探头，如何屏蔽杂光，如何实现选通功能，如何对物体进行扫描。激光雷达选通成像系统硬件主要由四个部分组成：激光发射模块(激光器，需要发射脉冲激光)；激光接收模块(一般为 ICCD，在激光雷达选通成像系统中需与时间选通门相连)；控制电路；扫描模块。激光发射模块：采用高重频、高能量脉冲激光器(如 532nm 波长激光)，用于发射激光束。激光接收模块：包括高速成像 ICCD (增强型电荷耦合器件)和光电探测器，用于接收反射激光信号并转换为电信号。控制电路：用于同步激光发射和接收时间窗口，确保选通成像的精确性。扫描模块：可选机械扫描或固态扫描技术，用于实现多角度扫描[3]。

激光雷达选通成像系统同样需要软件设计，包括：选通控制程序；数据处理算法程序；图像处理程序。控制算法：用于控制激光脉冲的发射和接收时间窗口，实现距离选通。数据处理算法：对接收到的信号进行滤波、校正和三维重构，生成目标的三维点云数据。图像处理：利用深度学习算法优化成像质量，去除噪声和干扰。

最终系统实现的测试与验证，需要对系统进行全面测试，验证其稳定性、功能性和可靠性。虽然激光雷达选通成像技术在复杂环境中的高精度三维成像方面具有显著优势，但其搭建和优化仍面临成本、尺寸、系统复杂性和环境适应性等挑战。未来，随着技术进步和应用需求的增长，激光雷达选通成像系统有望在更多领域实现突破性应用。

## 2. 激光雷达选通成像演示系统搭建中存在的问题

在激光雷达选通成像系统搭建过程中,实现激光发射,内部光路,照射物体,返回探头,时间选通,实现测距功能,展示物体三维图像功能,激光移动扫描物体等功能。但在实际搭建过程中存在较多问题,下文给出解决方法。

### 2.1. 演示系统中光学干扰问题

在激光雷达与摄像头协同工作的系统中,激光束照射物体后可能通过反射或散射路径进入摄像头,引发一系列光学干扰问题。主要包含:过曝与传感器饱和、反射与散射干扰、传感器物理损伤风险。

### 2.2. 抑制激光干扰的关键技术措施

**光谱滤波技术:**通过在摄像头光学路径中集成带阻滤光片(Notch Filter)或带通滤光片(Bandpass Filter),选择性衰减激光波长(如 905 nm 或 1550 nm),同时保留可见光波段(400~700 nm)的透射率。例如,采用多层介质膜滤光片(Dielectric Thin-Film Filter)可在 905 nm 处实现>90%的抑制率,而对可见光透射率损失小于 5%。此外,可通过自适应滤光系统(如液晶可调滤光片)动态调整滤波波长,以应对多波长激光雷达的干扰。

**激光功率与调制优化:**降低激光发射功率(如从 Class 1 激光的 100 mW 降至 10 mW)可有效减少反射光强度,但需权衡探测距离与信噪比。另一种方案是采用脉冲编码调制(Pulse Coding),通过时间门控(Time Gating)技术仅在摄像头曝光间隔发射激光,例如将激光脉冲与摄像头帧同步信号对齐,利用 FPGA 实现纳秒级时序控制,避免光路交叉干扰[4]。

**空间布局与光学设计优化:**通过几何调整,使激光照射物体后反射光可以进入探头,避免激光直接照射进探头,并可通过将激光光路和物品包裹的方式使激光在反射后更多进入探头,而在未反射前避免直接进入探头。

**选通成像算法优化:**激光雷达选通成像时,不断调整脉冲激光发射时间和选通门的打开和关闭时间,精确控制激光脉冲发射与摄像头曝光的时间同步,实现对特定距离范围内目标的清晰成像。

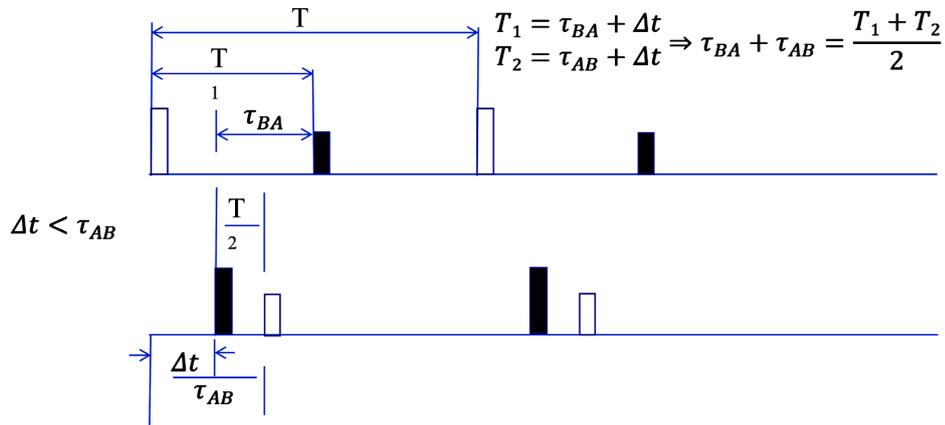
通过设置时间门控窗口(Time Gate),仅接收来自特定距离范围内的目标反射光,从而抑制其他距离的背景光或干扰光。发射短脉冲激光(如纳秒级脉冲)。根据目标距离计算光程时间(Time-of-Flight, ToF),延迟摄像头曝光时间。仅捕捉目标反射光,忽略其他时间到达的光信号。

### 2.3. 实验验证与性能评估

为量化上述措施的有效性,可通过以下实验方法进行验证。**干扰强度测试:**使用标准测试靶标(如灰度卡与分辨率板),对比有无滤光片时的图像 MTF (Modulation Transfer Function)与动态范围;**抗损伤测试:**通过逐步增加激光功率,监测传感器暗电流(Dark Current)与坏点(Dead Pixel)数量变化,确定安全操作区。

激光雷达与摄像头的协同干扰本质上是光机电系统耦合问题,需从光谱、空间、时间多维度设计抑制策略。未来研究方向包括开发宽波段抗激光干扰传感器、高精度时空同步控制技术,以及基于物理模型的端到端去噪算法,以实现复杂环境下多模态感知系统的性能最优化。不断改进激光雷达选通成像系统,随着技术进步不断升级激光雷达选通成像演示系统,在演示过程中更多展示雷达结构。

同时在激光雷达测距过程中,根据激光发射时间到探头收到激光的时间进行计算,实际实验过程中,存在探头接收不到由物体反射到的激光问题,需要对光路进行多次调整。其中测距原理图如下图 1。



**Figure 1.** Principle diagram of distance measurement  
**图 1.** 测距原理图

但该测距过程经常出现测距不准确等问题, 进行调整光路仍不能解决问题, 使用外接测距芯片, 并利用选通测距使结果明显优化。利用标准偏差比较前后测距误差。其中  $RSD = S/x \times 100\%$ , 相对标准偏差在对距离为 2 m 的十组测量数据时由一开始的 5.21%到最终的 0.79%。测距不精准在经选通减少其他光的影响及使用外接芯片后已经得到很好解决[4] [5]。

激光雷达选通成像演示系统通过简单结构, 在演示时展示其内部结构, 体现其基本功能。在本文中给出几个常见问题的处理方法。在未来雷达进步过程中, 不断革新, 改进其组装搭建, 届时演示系统种类将更多样丰富。

#### 2.4. 选通成像技术未来发展方向

尽管激光雷达选通成像技术已取得显著进展, 但在实际应用中仍需进一步突破。高精度与智能化同步控制开发基于量子时钟或光频梳的超高精度同步技术结合深度学习预测目标运动实现自适应时间门控。低功耗与小型化设计探索硅光子集成芯片(SiPh)与 MEMS 微镜技术降低系统体积与功耗推动其在无人机、可穿戴设备中的应用。

实时去噪与超分辨率重建开发基于物理模型的神经网络例如物理驱动的物理信息神经网络(PINN)实现噪声抑制与分辨率提升的联合优化。端到端成像优化构建从激光发射到图像生成的端到端优化框架, 通过强化学习动态调整系统参数。

极端环境探测方面, 针对深空、深海、核辐射等极端环境, 研发耐高温、抗辐射的特种激光雷达选通成像系统。生物医学成像探索近红外激光选通成像在活体组织检测、血管成像等医疗领域的应用潜力。

激光雷达选通成像演示系统的搭建是推动该技术从实验室走向实际应用的关键一步。通过解决时间同步、噪声抑制、动态适应等核心问题, 并结合算法与硬件的协同优化, 未来有望在自动驾驶、军事侦察、工业检测等领域实现更广泛的应用。同时, 技术的小型化、智能化与多模态融合将成为下一阶段研究的重点, 为复杂环境感知提供更高效的解决方案。

### 3. 总结

本文介绍了激光雷达选通成像演示系统的搭建过程, 分析了在搭建过程中遇到的关键问题, 并提出了有效的解决方案。通过实验验证了抑制激光干扰措施和测距优化技术的有效性, 并对未来的发展方向进行了展望。这些研究成果不仅为教学演示系统的搭建提供了参考, 也为激光雷达选通成像技术的进一步发展和应用提供了理论支持和实践指导。

## 参考文献

- [1] 魏龙超, 王鹏宇. 激光雷达超远距离测距技术[J]. 宇航计测技术, 2024, 44(3):75-81.
- [2] Gruber, T., Kokhova, M., Ritter, W., *et al.* (2018) Learning Super-Resolved Depth from Active Gated Imaging. 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Maui, 4-7 November 2018, 3051-3058. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569590>
- [3] Gruber, T., Julca-Aguilar, F., Bijelic, M., *et al.* (2019) Gated2Depth: Real Time Dense Lidar from Gated Images. 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), Seoul, 27 October-2 November 2019, 1506-1516. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00159>
- [4] 张思卿, 刘晓泉. 视觉引导的激光距离选通三维成像[J]. 2024, 53(7): 119-127.
- [5] 王新伟, 孙亮, 张岳, 等. 激光距离选通三维成像技术研究进展(特邀) [J]. 红外与激光工程, 2024, 53(4): 31-49.