

# 基于 LabVIEW 和 SolidWorks 的 光学虚拟仿真实验教学平台的开发及应用

邓坤 解绍昆 蒙光伟 黎李锋 时宗开 张莉 徐德芹\*  
天津职业技术师范大学理学院 天津 300222

**摘要:** 本文以物理光学实验平台为基础, 结合 SolidWorks 与 LabVIEW 软件, 构建了一个光学虚拟仿真实验教学平台。该平台以“夫琅禾费衍射”与科学前沿的“量子计算关联成像”实验为案例, 涵盖实验原理、实验操作、数据测量与分析等模块, 实现了光学实验的虚拟可视化, 培养了学生们的兴趣、创新意识与能力。

**关键词:** 光学实验; 夫琅禾费衍射; 量子计算成像; 虚拟仿真

## 引言:

物理实验作为培养学生实践技能的重要课程, 其重要性不言而喻<sup>[1-2]</sup>。然而, 当前许多高校在实验资源方面面临诸多挑战, 如设备昂贵、数量有限、场地紧张以及安全管理难度大等问题, 限制了实验的全面推广。随着信息技术的迅猛发展, 教育部科学技术与信息化司长雷朝滋曾指出: “教育信息化即互联网+在教育领域的生动体现。”教育信息化成为解决这一难题的新途径<sup>[3-4]</sup>。在此背景下, 虚拟仿真实验应运而生, 为破解实验推广难题提供了新思路。本文依托物理光学实验平台, 创新性地融合了 LabVIEW 与 SolidWorks 软件, 开发出一个光学虚拟仿真实验教学平台。SolidWorks 展示了丰富的元件库和虚拟实验仪器, 以及精准的光学实验光路图呈现功能。而 LabVIEW 软件以其强大的功能, 负责编写用户界面、读取外界数据、实时监测仿真模型的运行状况。为了验证该仿真实验平台的实用性和有效性, 选取了光学夫琅禾费衍射实验和量子计算机成像实验进行测试性能。

该虚拟仿真实验教学平台的出现, 打破了传统实体实验在设备、场地、时间及安全等方面的限制, 实现了课下虚拟实验与课上实体实验的无缝对接。这一创新不仅让学生可以随时随地开展实验学习, 更极大地激发了他们的学习热情, 提升了教学的效率与质量。

## 一、光学实验原理概述

### (一) 光学夫琅禾费衍射实验原理<sup>[5]</sup>

一束振幅为  $A$  的单色平面波, 垂直照射物体后, 光继续自由传播, 在距离物体为  $z$  处放置一个观察屏, 当距离  $z$  足够大 (满足远场近似条件), 观察屏上的光强分布 (即物体透射光场的功率谱) 为:

$$I(x, y) = |U(x, y)|^2 = \left(\frac{A}{\lambda z}\right)^2 |F\{t(x_0, y_0)\}|^2 \quad (1)$$

其中  $t(x_0, y_0)$  为该物体的透过率函数,  $F\{t(x_0, y_0)\}$  表示孔径平面透射光场的复振幅分布的频谱。

### (二) 圆孔夫琅禾费衍射的分析

当用单位振幅的单色平面波垂直照明圆孔物体时, 观察平面上的衍射光强度分布为:

$$I(r) = \left(\frac{ka^2}{2z}\right)^2 \left[2 \frac{J_1\left(\frac{kar}{z}\right)}{\frac{kar}{z}}\right]^2 \quad (2)$$

其中,  $J_1(x)$  为一阶第一类贝塞尔函数。

由公式 (2), 中央亮斑称为艾里斑, 其半径为:

$$\Delta r = 0.61 \frac{\lambda z}{a}$$

所以, 当  $\lambda, z$  不变时, 增大 (减小) 圆孔的半径  $a$ , 艾里斑半径减小 (增大);

当  $\lambda, a$  不变时, 增大 (减小) 观察屏与衍射屏之间距离  $z$ , 艾里斑半径增大 (减小);

当  $z, a$  不变时, 增大 (减小) 光波长  $\lambda$ , 艾里斑半径增大 (减小)。

### (三) 量子计算关联成像实验原理

关联成像, 又称关联成像或双光子成像, 是一种利用双光子符合探测恢复待测物体空间信息的新型成像技术。关联成像, 是基于光场强度的关联测量, 一种强度波动的统计相关, 是光场的二阶关联<sup>[6]</sup>。

2008 年, Shapiro 从理论上提出了计算关联成像实验<sup>[7]</sup>, 把传统关联成像所需要的两路光改为一路光, 用空间光调制器 (SLM) 或数字微镜 (DMD) 产生随机强度分布, 用一个单像素相机完成测量, 证明了关联成像可以通过经典光场的二阶互相关理论进行准确描述。

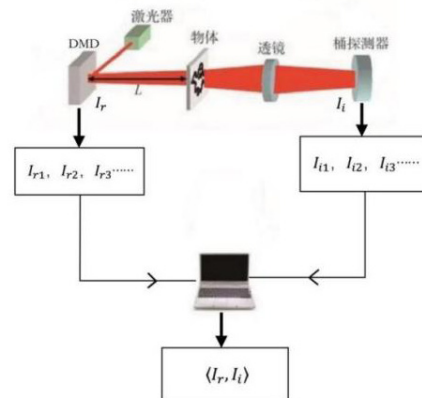


图 1 量子计算关联成像实验示意图

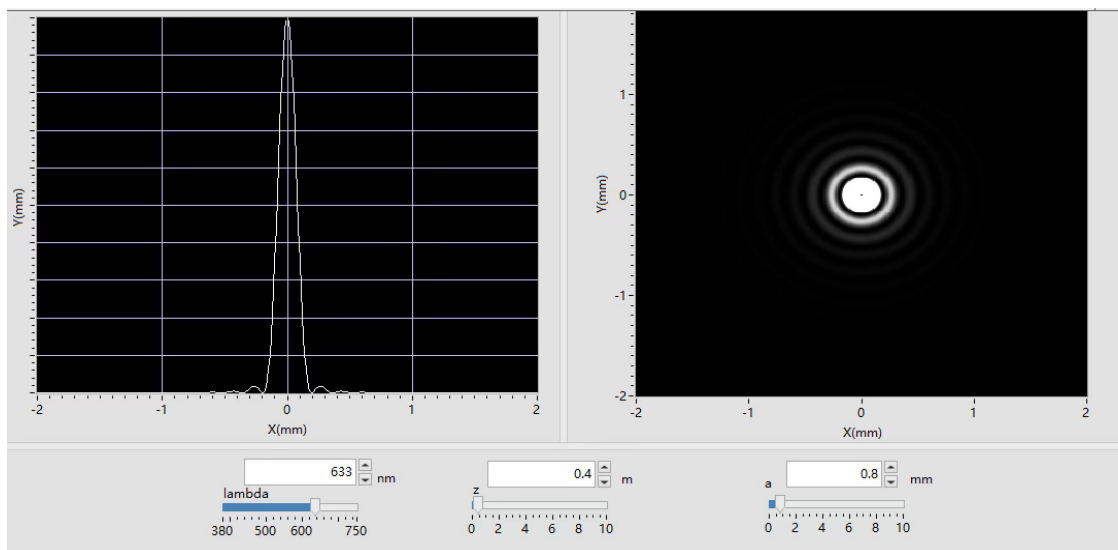


图 2 圆孔衍射实验操作与测量界面

如图所示，量子计算关联成像的实验装置示意图，一束激光照射在 DMD 上，产生随机分布散斑，散斑分布的光场强度分布为  $I_{r_i}$ （参考光路强度），光继续自由传播，经过物体后被探测器收集，其光场强度分布为  $I_i$ （信号光路强度分布），其中  $i$  是散斑帧数。

在随机散斑照射情况下，强度涨落的关联为

$$G^{(2)}(x_1, x_2) = \langle I_r(x_1)I_i(x_2) \rangle - \langle I_r(x_1) \rangle \langle I_i(x_2) \rangle = |\langle E_r(x_1)E_i^*(x_1) \rangle|^2 \quad (4)$$

其中  $E_r(x_i)$  为参考光路的光场分布， $E_i(x_i)$  为信号光路的光场分布。由公式 (4) 可再现出物体的像。

## 二、光学虚拟仿真实验教学系统的开发及应用

### (一) 光学虚拟仿真实验系统的设计

虚拟仿真教学平台的开发使用 SolidWorks 建模软件完成光学实验元器件的建模。利用 LabVIEW 搭建的光学虚拟仿真前面板，加入的控件，使用装饰盒对前面板进行整洁化设计<sup>[8]</sup>。

在 LabVIEW 中搭建的前面板可以进行实验项目选择，简单清晰的指令，让使用者清楚地了解该虚拟仿真平台的包含的实验项目。使用选项卡进行选择，对于不同的虚拟实验根据需要进行合理的界面设置<sup>[9]</sup>。

### (二) 光学虚拟仿真实验的测量与验证

#### 1、光学夫琅禾费衍射实验

(1) 打开光学夫琅禾费衍射界面，学习实验原理

(2) 选择夫琅禾费衍射实验操作，以圆孔物体的夫琅禾费衍射实验为例进行实验研究与验证。

选择红光  $\lambda = 632.8\text{nm}$ ， $z = 0.4\text{m}$ ， $a = 0.08\text{mm}$

，其衍射强度分布图如下图所示。

a) 固定  $z = 0.4\text{m}$ ，圆孔半径  $a = 0.8\text{mm}$ ，调节光波长，测得数据

$\lambda$ (nm)	632	589	532	435	365
$\Delta x$	0.2mm	0.19mm	0.17mm	0.12mm	0.11mm

固定圆孔尺寸和衍射距离  $z$  时，调节光波长，随着光波长减小（或增大），中央亮斑的条纹间距变小（或增大），与公式  $\Delta r = 0.61 \frac{\lambda z}{a}$  结论一致。

b) 固定波长  $\lambda = 632\text{nm}$ ， $a = 0.8\text{mm}$ ，调节衍射距离  $z$ ，测得数据

$z$ (m)	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$\Delta x$	0.39mm	0.31mm	0.26mm	0.21mm	0.19mm

固定圆孔尺寸和光波长时，调节衍射距离  $z$ ，随着衍射距离  $z$  增加（或减小），中央亮斑的条纹间距增大（或减小），与公式  $\Delta r = 0.61 \frac{\lambda z}{a}$  结论一致。

#### 2、量子成像实验

(1) 打开量子成像界面，学习实验原理

(2) 选择量子计算关联成像实验操作，研究测量不同物体的量子计算关联成像

选择不同物体（单孔，双孔，加载任意图片物体），调整物体中心的位置坐标（X 中心，Y 中心）及大小（X 宽，Y 宽），输入合适的采样率（0 到 1）调节散斑帧数，即可获得不同物体的计算关联成像结果

由以上实验结果可得：不同物体通过强度关联计算方法可以实现成像，即计算关联成像。

### 结 论：

借助 SolidWorks 软件和 LabVIEW 软件，构建了实验装置场景，搭建了虚拟仿真实验操作系统<sup>[10]</sup>。这一系统使学生能够从了解实验目的、学习实验原理、掌握实验步骤，到测量实验数据，并进行数据处理，实现了一站式、便捷式的学习体验。不仅充分满足了实际教学内容的操作需求，更显著提升了教学效果，引领物理实验向智能化发展，使昂贵的科研设备得以引入教学领域，有效降低了教学成本，同时也避免了因学生不规范操作而导致的设备损坏及人身安全问题。将前沿的科学知识融入教学课堂，拓宽了学生的视野，提升了学生相关知识点的掌握运用能力，培养学生的创新意识，鼓励他们勇攀科技高峰，为科技强国贡献力量。

### 参考文献：

[1] 吕秀品,李林,陈洁,等.大学物理实验虚拟仿真教学平台的建设与教学体会[J].大学物理实验,2020,33(4):114-116.

[2] 田凯,王丽霞,蔡晓艳.仿真实验与实体实验相结合在大学物理实验教学中的应用探索[J].大学物理实验,2016,29(3):80-83.

[3] 王庆凤,谢田雨.基于 LabVIEW 和 MatLab 物理模型的自动控制原理课程虚拟实验教学平台的搭建[J].中国现代教育报,2018,297:1-4.

[4] 白龙温,王振兴,阙博洋.基于 Unity3D 的工业机器人虚拟仿真实训教学系统的开发与应用[J].天津职业院校联合学报,2024,26(9):48-53.

[5] 王仕璠.信息光学理论与应用[M],北京:北京邮电大学出版社,2020:65-77.

[6] Cao Dezhong, Xiong JunZhang Suheng, et al. Enhancing Visibility and Resolution in Nth-Order Intensity Correlation of Thermal Light[J]. Applied Physics Letters, 2008, 92(20): 013802.

[7] Shapiro J H, Computational ghost imaging[J]. Physical Review A, 2008, 78:061802.

[8] 邢玉恒,吴新星,邱文娟,等.大学物理实验中

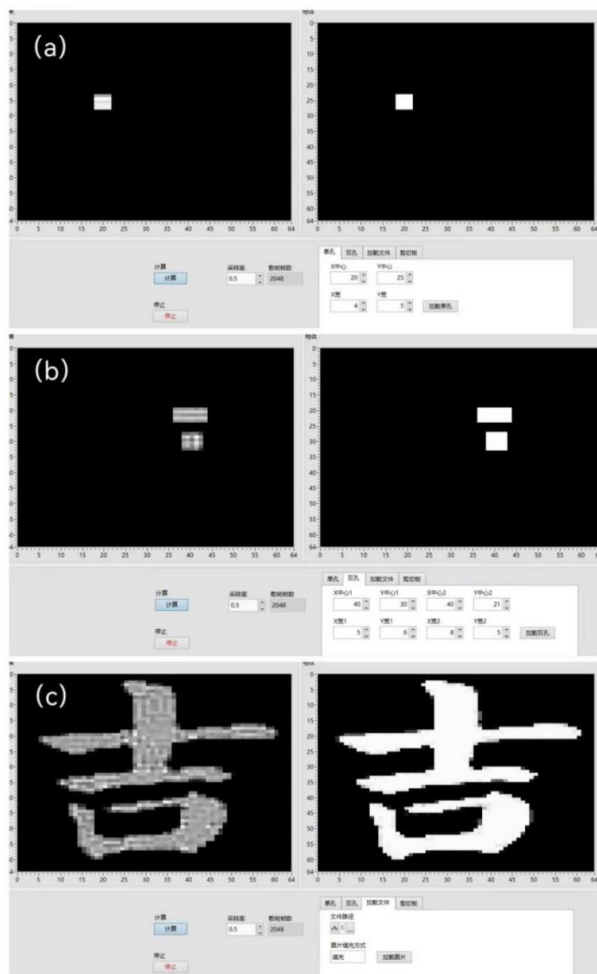


图3 右图为物体，左图为计算机成像结果。(a)单矩孔物体 (b)双矩孔物体 (c)“吉”字物体。

光学系统成像的 Matlab 仿真模拟[J].物理与工程,2024,34(06):193-201.

[9] 王美姣,赵加强,邢匡衡,等.基于 MATLAB 仿真光学实验的设计与实现[J].潍坊学院学报,2024,24(05):52-63.

[10] 庞晓宁,崔新图,黄臻成,等.数字化演示实验助力光学慕课西行——以圆孔衍射实验为例[J].物理实验,2024,44(10):38-44.

### 课题信息：

1. 横向科研课题，基于暗场系统的光学检测平台的研发，HXJZ240348。
2. 大学生创新创业训练计划项目，基于信息光学实验的虚拟仿真系统的研究，SJ202496。

### 作者简介：

邓坤（2002.10-）男，汉族，贵州安顺人，本科，主要研究方向：应用物理学。

通讯作者：徐德芹（1986.04-）女，汉族，山东枣庄人，副教授，博士，主要研究方向：量子光学。