

# 基于 MATLAB 的傅里叶光学实验的计算机模拟\*

徐慧梁<sup>†</sup> 何振江 杨冠玲 张成云

(华南师范大学物理系 广州 510631)

**摘要** 计算机模拟技术广泛应用在教学和科研当中,在傅里叶光学实验中引入计算机模拟技术能更生动和深入地揭示光学现象的物理内涵.文章提出利用 MATLAB 模拟傅里叶光学实验的方法.该方法的优点是操作简单灵活,能完成一般光学实验中较难实现的操作,并给出了光学滤波实验的结果.

**关键词** 计算机模拟, MATLAB, 空间滤波, 数字图像处理

## Computer simulation of Fourier optical experiments based on MATLAB

XU Hui-Liang<sup>†</sup> HE Zhen-Jiang YANG Guan-Ling ZHANG Cheng-Yun

(Department of Physics, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstracts** Computer simulation is widely used in teaching and research. The introduction of computer simulation into Fourier optics experiments can aid the visualization and deeper understanding of the physics of optical phenomena. In this paper a new method that uses MATLAB to simulate Fourier optics experiments is presented. The advantage of this method is that it is simple, easily adaptable and capable of performing fairly difficult operations in the most common optical experiments. The results for an optical filter experiment are given.

**Key words** computer simulation, MATLAB, spatial filtering, digital image processing

### 1 引言

在大学理工科课程的教学引入计算机模拟技术正日益受到重视,关于物理图形比如光学实验图像的模拟,已经有人做过一些工作<sup>[1,2]</sup>,但还较少见到有人利用 MATLAB 软件做模拟光学实验的工作.光学信息处理具有容量大、速度快、装置简单等优点,但在复杂和精密光路设计过程中为了获得最佳的实验验证,需要进行繁杂的计算和困难的实验验证,而计算机模拟技术可以为光路设计、相关光学器件的设计以及图像处理提供一条简捷的途径.利用 MATLAB 模拟光学实验简单灵活,操作者可以在计算机上自由设计图形的形状、尺寸以及实验参数变量,不受实际实验室条件的限制,能完成实

际中较难完成的操作,从而加深了对物理原理、概念和图像的理解.因此,在傅里叶光学实验中引入计算机模拟技术是必要的.基于此,本文介绍怎样利用 MATLAB 来模拟傅里叶光学实验,并给出了利用此模拟技术解决的光学空间滤波实验的模拟,以及两个基于光学滤波原理的相干光学信息处理应用的实验模拟.

### 2 计算机模拟方法

MATLAB 是一套高性能的集数值分析、矩阵运算、信息处理和数据可视化于一体的优秀的工程软件.与其他计算机语言(如 C, FORTRAN 等)相比,

\* 2003-04-27 收到初稿,2003-07-19 修回

<sup>†</sup> 通讯联系人. E-mail: xuhuilis@sohu.com

MATLAB 编程规则简单,易学易用,更符合人的思维方式。MATLAB 提供了强大的图形绘制和输出功能,发布的影像处理工具箱专门用于图像处理<sup>[3]</sup>,利用该工具箱可以方便地模拟傅里叶光学实验,该方法简捷、灵活,不必要专门做成工程软件的形式,只需要编成 MATLAB 脚本文件即可,因此可以动态地调试和跟踪程序的运行状态。操作者可以方便地融入自己的设想,方便参量的调节,特别适合没有编程经验的人操作,从而克服了一般 CAI 软件操作的不易变通性。计算机模拟傅里叶光学实验步骤的流程示意图如图 1 所示。

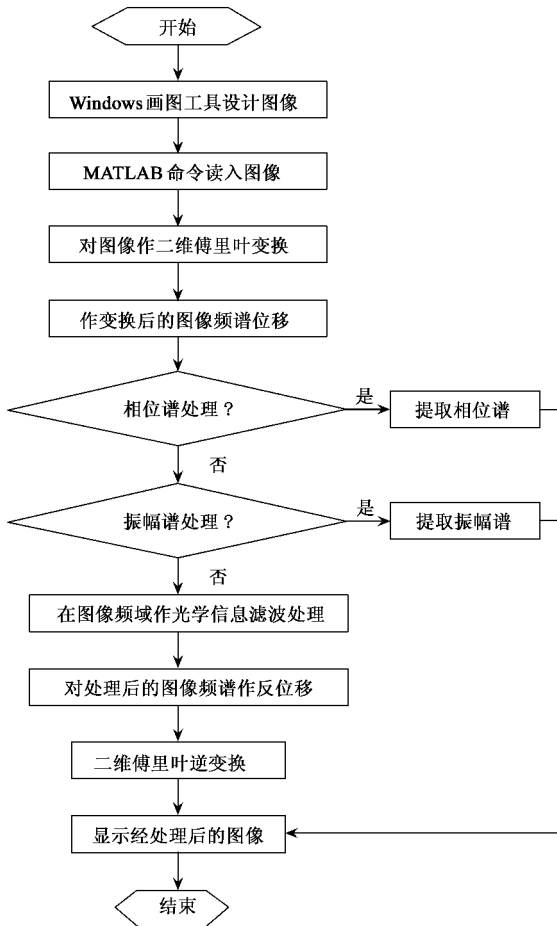


图 1 计算机模拟光学实验流程示意图

具体操作过程是:物体图像的生成可以直接由矩阵运算生成,也可利用 Windows 下的画图工具,生成一幅二值图像(属性为黑白),并将建立的图像存入 MATLAB 的工作目录(\work)下。然后调用命令函数 `imread()` 输入图像,输入图像是一个二维矩阵。利用 MATLAB 函数库中的二维离散傅里叶变换函数 `fft2()` 对二维矩阵进行傅里叶变换,得到图像的频谱,该频谱是一个复数矩阵。然后将此图像的

## 傅里叶光学简介

傅里叶光学是现代光学中的一个分支,它利用光学方法实现二维函数的傅里叶变换,用傅里叶分析方法和线性系统理论来描写成像系统,收集或传递光学信息,使人们研究光学不再局限于空域,而像电子通信理论一样在频率域中描述和处理光学信息。傅里叶分析方法早在 19 世纪末、20 世纪初便成功地应用于光学领域,具有代表性的是阿贝关于显微镜的二次成像理论和阿贝-波特(空间滤波)实验。傅里叶光学早期的卓越成就是 20 世纪 30 年代泽尼克发明的相衬显微镜。20 世纪 60 年代激光器的发明使人们获得了相干性极好的新光源,从而使基于傅里叶光学理论的信息光学得以迅速发展起来成为光学中的一门新兴的前沿科学。目前,光学计算全息及其显示、光学信息处理等已经在光学工程、工业、农业、医药卫生和科学研究等多领域得到广泛应用。傅里叶光学已成为现代光学中具有广泛影响的新分支。

频谱矩阵进行一些必要的处理,以得到不同的处理目的,包括:

(1)取模函数 `abs()` 对该复数矩阵取模,得到振幅谱矩阵。因为光学图像处理的频谱图样所显示的是振幅谱,利用函数 `fftshift()` 对取模后的矩阵进行频谱位移,这是因为变换后的二维频谱矩阵的直流分量位于图像的周边角, `fftshift` 交换二维矩阵的 1、3 象限和 2、4 象限,使直流分量移到频谱中心,从而使 FFT 频谱可视效果与实际图像相吻合。这项操作可应用于简单孔径、光栅等的夫琅禾费衍射图样的模拟。

(2)相位处理函数 `angle()` 对该复数矩阵取位相角,得到相位谱矩阵,同(1)一样,需要对取相位后的矩阵利用函数 `fftshift()` 进行频谱位移。这项操作可应用于相位谱的存取、相位滤波等的模拟。

(3)按要求生成一个与频谱矩阵具有相同维数的滤波器(滤波函数)矩阵 `filter`,并与频谱矩阵作数组运算(滤波),然后对经滤波调制后的矩阵做逆傅里叶变换,最后调用命令 `imshow()` 显示经滤波调制后的原物体图像的处理结果。这项操作可应用于空间滤波以及基于光学滤波技术的相干光学信息处理应用的模拟。

需要说明的是,做频谱位移和读取振幅或位相谱的步骤可以灵活交换,不会影响最终图像显示结果。做光学空间滤波模拟时,如果想动态获取频谱面频谱的正确图像,需要做频谱位移的操作,如果只

想得到最终结果,可不必做频谱位移的操作.

### 3 计算机模拟实例

#### 3.1 空间滤波的模拟

空间滤波就是利用滤波器(包括振幅滤波器、位相滤波器和复数滤波器)在相干光学信息处理系统的空间频谱面上滤去一些空间频率成分,从而使像平面的像按我们的意图来改变<sup>[4]</sup>.以典型的 $4f$ 相干光学信息处理系统为例,如图2所示,其中 $L_1$ 为准直透镜, $L_2$ 和 $L_3$ 为傅里叶变换透镜,焦距均为 $f$ , $P_1$ 为物平面, $P_2$ 为频谱平面, $P_3$ 为像平面.频谱平面 $P_2$ 可看成是信息面, $P_1$ 平面上物体的衍射光经过透镜 $L_2$ 变换后在 $P_2$ 面上形成衍射光斑.理想情况下,这些衍射光斑包含了物体的全部信息,可以选择不同的滤波器来对这些光斑进行调制,包括振幅和位相的调制.经过处理过的信息再经过透镜 $L_3$ 的变换,在像平面 $P_3$ 再次叠加而获得所需要的按要求改善过的像.

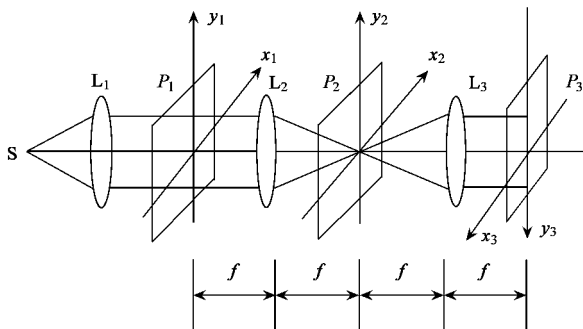


图2  $4f$ 相干光学信息处理系统

相应的模拟结果如图3所示,可见符合实际的滤波效果.其中图3(a)是网状物体(b)是其振幅谱(c)是低通滤波后物体图像的背景光(d)和(e)分别是横向和竖向滤波后的像(f)(g)和(i)分别是相应的二元滤波器.(h)和(j)分别是透过横向和竖向二元滤波器后相应的振幅频谱成分.同时为了验证随着滤波器孔径的逐渐扩大,透过的空间频谱逐渐增加,看到物体像的逐渐清晰,我们设计了两个尺寸由小到大的低通滤波器,如图4所示.可以看到,随着通过中心孔径的频谱成分的逐渐增多,像也变得逐渐清晰.

#### 3.2 图像的周期性网点消除

图像的周期性网点一般是在制版过程中形成的,这些网点间距很小,是一种高频信号,可以用相

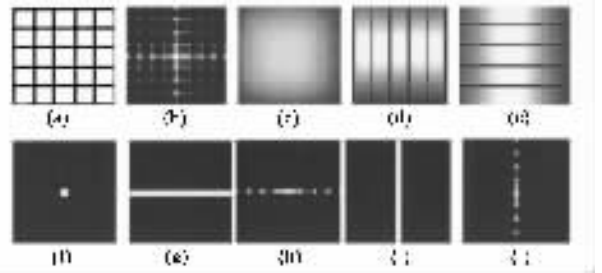


图3 空间滤波的计算机模拟结果

(a)网格状输入物 (b)振幅频谱图样 (c)零频滤波输出的背景光 (d)(e)方向滤波分别输出网格的垂直和水平结构 (f)零频滤波器 (g)(h)横向滤波器及其调制频谱 (i)(j)竖向滤波器及其调制频谱

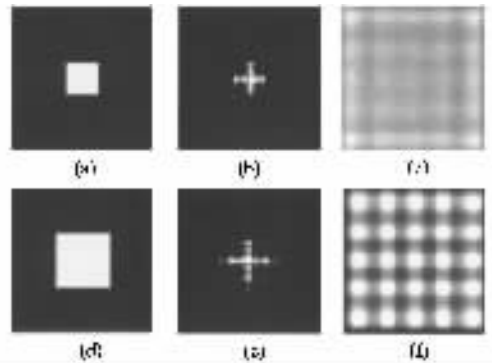


图4 不同尺寸的低通滤波器对成像产生的结果

(a)(b)(c)孔径稍小的滤波器及其滤波和成像的结果 (d)(e)(f)孔径稍大的滤波器及其滤波和成像的结果

干低通滤波的方法滤去图像的高频成分从而达到把图像中的网点消除的目的.本文设计将二值周期性网点与一幅二值汉字图像叠加,产生周期性网点图像,如图5(a)(b)(c)所示.然后将网点图像进行低通滤波,得到结果如图5(d)所示,可见处理的结果是相当成功的.比较(b)和(d)可以看出,尽管由于低通滤波滤掉了高频成分,但也滤掉了一部分反映原图信息的频谱成分,因此处理过后的图像较原图强度暗了一些.

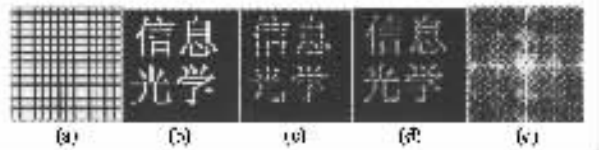


图5 周期性网点汉字图像低通滤波后的结果

(a)周期性网点 (b)二值汉字图像 (c)有周期性网点的二值汉字图像 (d)经低通滤波后的汉字图像 (e)有周期性网点的二值汉字图像的振幅频谱

### 3.3 字符串的特征识别

字符串的特征识别是指从给定的字符串中提取所需要的特征信息,或检测判断是否存在某一特定信息并标识其位置的方法. 利用 MATLAB 模拟是通过计算匹配滤波函数,然后再进行频谱综合而得到具体的结果,如图 6 所示. 图 6(b)中的字符 a 与(a)中的字符 a 具有相同特征,字符经识别后在相应的位置突显亮斑,如图 6(c)所示.

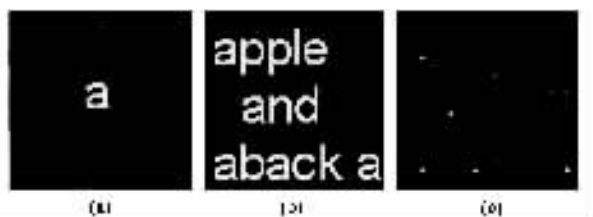


图 6 特征字符的识别图像

(a) 特征字符 (b) 待检测的字符串 (c) 检测到的字符特征亮斑

## 4 结束语

通过以上讨论可以看出,利用 MATLAB 强大的影像处理功能模拟傅里叶光学实验是成功的,而且图像也比较逼真. 借助傅里叶光学理论,我们可以通过分析光学信息处理过程而建立数学模型,经过

数值计算模拟光学信息处理. 根据实际需要制作不同的空间滤波器就可达到不同的光学信息处理效果,可广泛应用于图像的特征识别(匹配滤波)、消模糊(逆滤波)、联合相关变换等光学信息处理. 该方法不仅为信息光学、数字图像处理<sup>[5]</sup>等课程的教学提供了良好便捷的辅助手段,同时在科研当中为相关光学器件的设计也提供了另一条途径. 因此我们认为,傅里叶光学中引入计算机模拟是可行的有必要的,而且也具有广泛的应用前景.

### 参 考 文 献

- [1] 沈为民,杜茂森,刘东旭. 大学物理,2000,19(8):44 [Shen W M, Du M S, Liu D X. College Physics, 2000, 19(8):44 (in Chinese)]
- [2] 喻力华,赵维义. 大学物理,2001,20(1):22 [Yu L H, Zhao W Y. College Physics, 2001, 20(1):22 (in Chinese)]
- [3] 孙兆林. MATLAB 6.x 图像处理. 北京:清华大学出版社,2002.5 [Sun Z L. MATLAB 6.x Image Processing. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.5 (in Chinese)]
- [4] 张坤明,赵瑞程,梁瑞生. 信息光学. 广州:华南理工大学出版社,1993.5 [Zhang K M, Zhao R C, Liang R S. Information Optics. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993.5 (in Chinese)]
- [5] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002. 7

### · 信息服务 ·



# Rensselaer

## 美国伦斯勒理工学院招生信息

Troy, New York, U. S. A.

April, 2004

JOIN OUR GRADUATE SCHOOL IN PHYSICS

Ph. D. in Department of Physics, Applied Physics, and Astronomy

Areas of research: Terahertz Imaging and spectroscopy, Terascale Electronics and photonics, Nano-Particles Physics, Bio-physics, Origins of Life, Astronomy, Elementary Particles Physics. Teaching, research assistantships, and fellowships are available.

**Application** ↗ <http://www.rpi.edu/dept/grad-services/>

**Information** ↗ <http://www.rpi.edu/dept/phys/>

**E-mail** ↗ [gradphysics@rpi.edu](mailto:gradphysics@rpi.edu)