

# 数字全息实验

## 实 验 指 导 书

目 录

目 录 .....2

数字全息实验.....3

    引言.....3

    实验目的.....3

    实验原理.....3

    软件安装说明..... 11

    实验步骤..... 15

        1. 菲涅尔数字全息实验..... 15

        2. 中值滤波法改善数字全息再现像质量实验..... 17

        3. 维纳滤波法改善数字全息再现像质量实验..... 18

    注意事项..... 19

    实验报告..... 20

# 数字全息实验

## 引言

全息技术是一种不用透镜成像，而是利用相干光干涉得到物体全部信息的两步成像技术。全息术的概念，最早是由英国科学家 Dennis Gabor 提出的，他利用高压汞灯作为光源，拍摄了世界上第一张全息图，成功地实现了全息记录与再现。但由于当时没有理想的相干光源，而且全息再现像的质量受到孪生像的严重干扰，在上世纪 50 年代中期，全息术的发展几乎处于停滞状态。直到 1960 年激光器的问世，以及美国科学家 Leith 和 Uptneik 提出离轴全息，使物光再现像和其共轭像在频谱上产生分离，消除了孪生像问题，至此，全息技术的研究才步入一个新的阶段。

早在 1965 年，Kozma 和 Kelly 就提出了计算机生成全息图（Computer Generated Holography，简称 CGH）的概念，那时受计算机速度、容量和显示器分辨率等因素的约束，直到 80 年代中期以前计算机全息图的研究一直未取得大的进展。

数字全息技术不但可以完整的记录物光波的强度和相位信息，而且能实现空间三维物体的二维再现到三维再现的跨越。全息制作包括二种方式，光学全息和计算全息。光学全息用光学干涉原理制作，计算全息是用计算机对物波场的数学描述进行抽样、计算、编码而制作。

## 实验目的

- 1、掌握全息术的基本原理；
- 2、掌握数字全息的基本原理与实验过程；
- 3、掌握菲涅尔数字全息的原理与方法；
- 4、掌握两种滤波算法。

## 实验原理

### 1. 全息的基本原理

全息照相术是利用光的干涉和衍射原理，将物体反射的光波以干涉条纹的形式记录下来，并在一定条件下再现原物体的三维像，其基本原理可概括为：干涉记录、衍射再现。

#### （1）全息记录

两列频率相同、振动方向相同、相位差恒定的相干光的叠加，形成干涉。根据光波的叠加原理，在两列相干光相交的区域内，各点振动叠加的结果为光波振动的矢量和，所以光强在一些区域发生相长干涉，而在另一些区域发生相消干涉，这样便形成了明暗相间的干涉条纹。将物光和参考光干涉形成的图样记录下来就形成了一张全息图。全息图的干涉记录过程如图1所示：

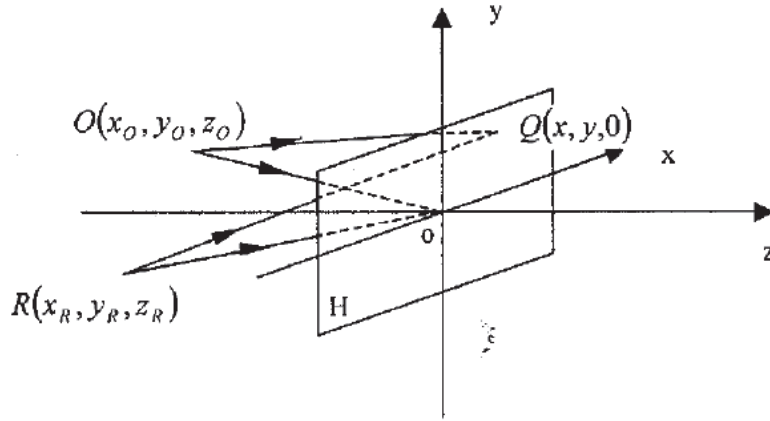


图1 干涉记录原理示意图

图1中，将坐标面  $x-y$  表示为全息图面，原点  $O$  在全息图的中心， $z$  轴垂直于全息图平面，面  $x-z$  平行于参考光束主光线的入射面，光波自左向右传播。 $O$  表示  $x-y$  面的原点， $H$  表示干涉记录的全息图， $O(x_O, y_O, z_O)$  表示物光点光源， $R(x_R, y_R, z_R)$  表示参考光点源， $Q(x, y, 0)$  表示全息图上任意一点， $\phi_O$ 、 $\phi_R$  分别表示物光和参考光的相位。干涉记录过程可用简单的数学公式来表示，设在全息图平面  $x-y$  上物光、参考光复振幅分别为：

$$O(x, y) = O_o(x, y) \exp[i\phi_o(x, y)] \quad R(x, y) = R_o(x, y) \exp[i\phi_r(x, y)] \quad (1)$$

两列光波叠加后的复振幅、光强分别为：

$$U(x, y) = O(x, y) + R(x, y) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} I &= U(x, y)U^*(x, y) \\ &= O(x, y)O^*(x, y) + R(x, y)R^*(x, y) + O(x, y)R^*(x, y) + R(x, y)O^*(x, y) \\ &= O_o^2(x, y) + R_o^2(x, y) + O_o(x, y)R_o(x, y)\{\exp[i(\phi_o - \phi_r)] + \exp[-i(\phi_o - \phi_r)]\} \\ &= O_o^2(x, y) + R_o^2(x, y) + 2O_o(x, y)R_o(x, y)\cos(\phi_o - \phi_r) \end{aligned} \quad (3)$$

由上式可知，光强的分布呈余弦分布，当  $\phi_o - \phi_r = 2n\pi$  时，光强最大，得到亮条纹；当  $\phi_o - \phi_r = (2n+1)\pi$  时，光强最小，得到暗条纹，因此干涉记录的条纹呈余弦状，并且是明暗相间分布。

## (2) 全息再现

光波在传播路径中，遇到不透明或透明的障碍物或者小孔（窄缝），绕过障碍物，产生偏离直线传播，并在障碍物的几何影区内和几何照明区内形成光强的不均匀分布，这便是光的衍射。全息图的衍射再现过程如图2所示：

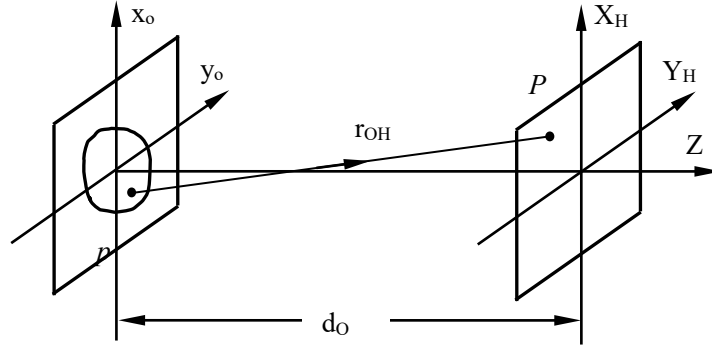


图 2 衍射再现原理示意图

面  $x_o - y_o$  表示物光平面，面  $x_H - y_H$  表示记录平面， $d_o$  表示两平面间的距离， $r_{OH}$  表示物面上任意一点到记录平面上任意一点的距离。物光从面  $x_o - y_o$  中的  $S$  点出发，经过衍射，到达记录平面  $x_H - y_H$ 。设物光场的复振幅分布为  $O(x_o, y_o)$ ，从同一波面上各点发出的次波是相干波，经过传播在空间某点相遇时的叠加是相干叠加，根据Fresnel-Kirchoff's 衍射公式，物光在记录平面  $x_H - y_H$  上的分布可以表示为：

$$O(x_H, y_H) = \frac{d_o}{j\lambda} \iint O(x_o, y_o) \frac{\exp(jkr_{OH})}{r_{OH}^2} dx_o dy_o \quad (4)$$

其中  $j = \sqrt{-1}$ ， $\lambda$  为光波波长，

$$\text{波矢} \quad k = 2\pi / \lambda \quad (5)$$

$$\begin{aligned} r_{OH} &= \sqrt{z_{OH}^2 + (x_H - x_o)^2 + (y_H - y_o)^2} \\ &= z_{OH} \left\{ 1 + \frac{(x_H - x_o)^2 + (y_H - y_o)^2}{2z_{OH}^2} - \frac{[(x_H - x_o)^2 + (y_H - y_o)^2]^2}{8z_{OH}^4} + \dots \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{若} \quad \lambda \gg \frac{1}{8d_o^3} [(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2]_{\max}^2 \quad (7)$$

$$\text{则} \quad r_o \approx d_o \left[ 1 + \frac{(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2}{2d_o^2} \right] \quad (8)$$

满足这个条件的范围属于菲涅尔衍射范围。将式(8)带入式(4)中可以得到：

$$O(x, y) = \frac{1}{j\lambda d_o} \exp(jkd_o) \exp\left(\frac{jk}{2d_o}(x^2 + y^2)\right) \times \iint O(x_o, y_o) \exp\left[-\frac{jk}{2d_o}(x_o^2 + y_o^2)\right] \exp\left[-\frac{jk}{d_o}(xx_o + yy_o)\right] dx_o dy_o \quad (9)$$

式(9)可以看作是  $O(x_o, y_o) \exp\left[-\frac{jk}{2d_o}(x_o^2 + y_o^2)\right]$  的傅里叶变换形式。

$$\text{若} \quad \frac{jk(x_o^2 + y_o^2)_{\max}}{2d_o} \ll 2\pi \quad (10)$$

这时随着距离的增大，衍射光波的范围将不断扩大，响应的考察范围也随着增大这时

$\exp\left[-\frac{jk}{2d_o}(x_o^2 + y_o^2)\right]$  项也可以被忽略掉。满足式(10)的范围成为夫琅禾费衍射区，其衍射积分公式变为：

$$O(x, y) = \frac{1}{j\lambda Z_o} \exp(jkZ_o) \exp\left(\frac{jk}{2Z_o}(x^2 + y^2)\right) \times \iint O(x_o, y_o) \exp\left[-\frac{jk}{Z_o}(x_o x + y_o y)\right] dx_o dy_o \quad (11)$$

如果使用与参考光完全相同的光源来照射全息图，则其在全息面上的复振幅为：

$$E_C = E_R(x, y) = R(x, y) \exp[j\varphi_R(xy)] \quad (12)$$

那么透过全息图的光波在全息面  $x-y$  上的复振幅分布为：

$$E_D(x, y) = (O^2 + R^2)R \cdot \exp(j\varphi_R) + R^2 O \exp(j\varphi_o) + R^2 \exp(j2\varphi_R) O \exp(-j\varphi_o) \quad (13)$$

式(13)是再现时衍射光波的表达式，即数字全息技术的基本公式。第一项， $(O^2 + R^2)R \cdot \exp(j\varphi_R)$ ，该项被称作零级项，是照明光波本身。第二项， $R^2 O \exp(j\varphi_o)$ ，代表原来的物光波，该项是数字全息产生的和被记录物体完全相同的再现像。第三项， $R^2 \exp(j2\varphi_R) O \exp(-j\varphi_o)$ ，包含代表原始物光的共轭项的波函数  $O \exp(-j\varphi_o)$  和位相因子  $\exp(j2\varphi_R)$ ，该项被称作共轭像。共轭项的位相与物光波的位相相差  $\pi$ ，所以共轭像和原物体的三维凸凹结构正好相反。

## 2. 数字全息的基本原理

数字全息的基本原理是：激光照射物体时，发生漫反射形成的散射光波与参考光波相干叠加形成干涉条纹，采用光敏电子元件（如CCD等）代替普通光学成像介质记录全息图，

记录到的全息图以数字图像的形式被存储在计算机中,然后利用计算机模拟光学衍射过程来实现物体的再现。

### (1) 数字全息记录

数字全息记录和再现过程如图3所示:

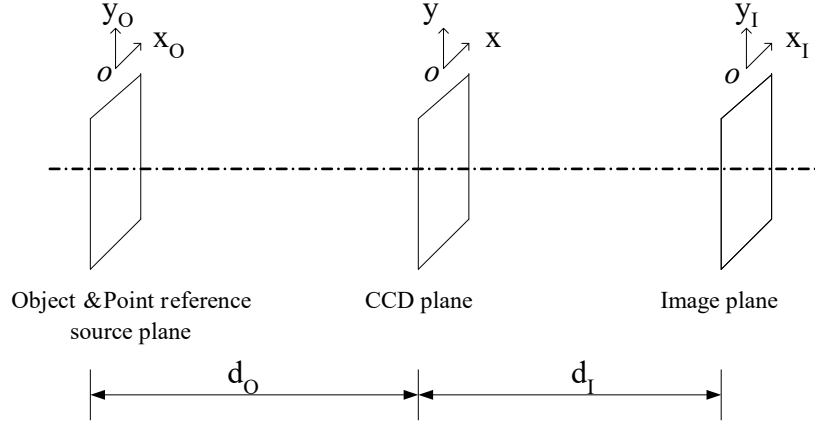


图3 数字全息记录和再现

设物光波全息面的复振幅为  $O(x, y)$ , 参考光的复振幅为  $R(x, y)$ , \*表示复共轭量。则物光与参考光在 CCD 靶面上的干涉场的光强分布  $I(x, y)$  与 (3) 式相同。将其离散化, 即可得到数字全息图。

设 CCD 的感光面尺寸为  $Lx \times Ly$ , CCD 的像素数为  $M \times N$  个点, 其采样间隔也即 CCD 的像素尺寸为  $\Delta x \times \Delta y$ , 而且  $\Delta x = Lx / M$ ,  $\Delta y = Ly / N$ , 对干涉条纹进行采样后得到的数字全息图可表示为:

$$I(m, n) = I(x, y) \text{rect} \left| \left( \frac{\xi}{Lx}, \frac{\eta}{Ly} \right) \right| \sum_{m=-M/2}^{M/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} \delta(\xi - m\Delta x, \eta - n\Delta y) \quad (14)$$

$$\text{其中 } m, n \text{ 为整数, } -\frac{M}{2} \leq m \leq \frac{M}{2}, \quad -\frac{N}{2} \leq n \leq \frac{N}{2} \quad (15)$$

### (2) 数字全息再现

设在计算机中模拟的再现光为  $C(m, n)$ , 则在 CCD 靶面处记录到的数字再现的波前为:

$$\Phi(m, n) = C(m, n)I(m, n) \quad (16)$$

在满足菲涅耳衍射条件下, 设计算机模拟再现光波的复振幅为  $C(x, y)$ , 则根据菲涅耳衍射定理, 在菲涅耳衍射区内, 距离全息面  $d_I$  处的再现像  $x_I y_I$  平面上的再现像复振幅分布为:

$$U(x_l, y_l) = \frac{j}{\lambda d_l} \exp(-j \frac{2\pi}{\lambda} d_l) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} C(x, y) I(x, y) \times \exp[-j \frac{\pi}{\lambda d_l} ((x_l - x)^2 - (y_l - y)^2)] dx dy \quad (17)$$

将其展开，离散化后可表示为：

$$U(k, l) = \frac{j}{\lambda d_l} \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} d_l\right) \exp\left[-j \frac{\pi}{\lambda d_l} (k^2 \Delta x_l^2 + l^2 \Delta y_l^2)\right] \times \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} C(m, n) I(m, n) \exp\left[-\frac{j\pi}{\lambda d_l} (m^2 \Delta x^2 + n^2 \Delta y^2)\right] \times \exp\left[j \frac{2\pi}{\lambda d_l} (m \Delta x k \Delta x_l + n \Delta y l \Delta y_l)\right] \quad (18)$$

式（18）即为数字全息再现像平面的光场分布，其中  $k=0, 1, \dots, M-1$ ;  $l=0, 1, \dots,$

$N-1$ ,  $\Delta x_l$ ,  $\Delta y_l$  为再现像的采样间隔，也被定义为再现像的分辨率。

### 3. 菲涅尔数字全息

对数字全息图进行衍射再现的过程是根据菲涅耳—基尔霍夫衍射积分公式进行数值计算得到离散的再现光场分布，并以图像的形式直接显示在计算显示器上。所以数字全息再现采用的算法主要有菲涅耳衍射积分算法和卷积再现算法。本实验采用菲涅耳衍射积分算法实现物体的再现。算法模型如下：

根据图 3 中的坐标模型，在菲涅耳近似下，将再现光波场中的二次位相因子  $(x_l - x)^2 - (y_l - y)^2$  展开，则可以得到：

$$O(x_l, y_l) = \frac{\exp(j2\pi d_l / \lambda)}{j\lambda d_l} \exp\left[\frac{j\pi}{\lambda d_o} (x_l^2 + y_l^2)\right] \times \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} t(x, y) C(x, y) \exp\left[\frac{j\pi}{\lambda d_l} (x^2 + y^2)\right] \exp\left[-j2\pi \left(x \frac{x_l}{\lambda d_l} + y \frac{y_l}{\lambda d_l}\right)\right] dx dy \quad (19)$$

式中， $t(x, y)$  表示全息图平面上的透过率函数， $C(x, y)$  表示照明光波在全息图平面上的光场分布， $O(x_l, y_l)$  表示透过全息图的衍射光场在像面上的分布。在式（19）中，考虑到坐标变换  $x_l / \lambda d_l \rightarrow f_x$ 、 $y_l / \lambda d_l \rightarrow f_y$ ，该式可以看成全息图透过率函数、照明光波和一个二次位相函数乘积的整体的傅里叶变换，即

$$O(x_l, y_l) = FF[t(x, y)C(x, y)g(x, y)] \quad (20)$$

其中



$$g(x, y) = \exp\left[-\frac{j\pi}{\lambda d_l}(x^2 + y^2)\right] \quad (21)$$

因此利用菲涅耳衍射积分算法，应用一次快速傅里叶变换法即可计算出在物光波的光场分布。如果全息图被采样为  $M \times N$  个点， $\Delta x$  和  $\Delta y$  分别为全息图在  $x$  和  $y$  方向的像素间隔，则(19)式的离散形式可写为

$$O(m\Delta x_l, n\Delta y_l) = FF^{-1}\{I(k\Delta x, l\Delta y)C(k\Delta x, l\Delta y) \exp\left[-j\frac{\pi}{\lambda d_l}(k^2\Delta x^2 + l^2\Delta y^2)\right]\} \quad (22)$$

式中  $FF^{-1}$  表示快速傅里叶逆变换， $m, n$  都是整数， $0 \leq m \leq M-1$ ， $0 \leq n \leq N-1$ ， $\Delta x_l$  和  $\Delta y_l$  分别为再现像平面上  $x_l$  和  $y_l$  方向的像素间隔。根据离散傅里叶变换中  $N$  个采样点与  $N$  个离散频率的关系<sup>[45]</sup>，可得

$$\Delta x_l = \frac{\lambda d_l}{M\Delta x}, \quad \Delta y_l = \frac{\lambda d_l}{N\Delta y} \quad (23)$$

上式中的  $\Delta x_l$  与  $\Delta y_l$  是再现像的采样间隔，又名再现像的横向分辨率。使用菲涅耳衍射积分算法后，再现像的横向分辨率与照明波长  $\lambda$  和再现距离  $d_l$  成正比，在同一波长记录的条件下，再现像的横向分辨率随着再现距离的增大而增大，也即再现像大小随着距离的增大而减小。

Matlab 中用于再现菲涅耳全息图再现的部分代码如下：

```
uin=double(imread('holo65.bmp')); %读取全息图 holo65.bmp
```

```
uin=uin(1:1200,1:1200); %调整全息图大小
```

```
Fresnel2D(uin, 6328e-10, 4.4e-6, 4.4e-6, d_l) % 使用 Fresnel2D 函数数值再现
```

注： $d_l$  是再现距离，试验实验中的大致范围是 0.27—0.65m。菲涅耳数值再现函数 Fresnel2D 的代码已嵌入到实验所用软件中。

#### 4. 中值滤波法

中值滤波器是一种非线性数字滤波器技术，经常用于去除图像或者其它信号中的噪声。这个设计思想就是检查输入信号中的采样并判断它是否代表了信号，使用奇数个采样组成的观察窗实现这项功能。观察窗口中的数值进行排序，位于观察窗中间的中值作为输出，利用中值滤波算法就可以很好地对图像进行平滑处理。

其操作过程如下：

- (1) 将模板在图像中遍历，并将模板中心与图像中心某个像素重合；
- (2) 读取模板下各对应像素的灰度值；
- (3) 将这些灰度值从小到大排序；
- (4) 找出排在中间的一个值；
- (5) 将这个中间值赋给对应模板中心位置的像素。

中值滤波算法的具体操作过程如图 4 所示：

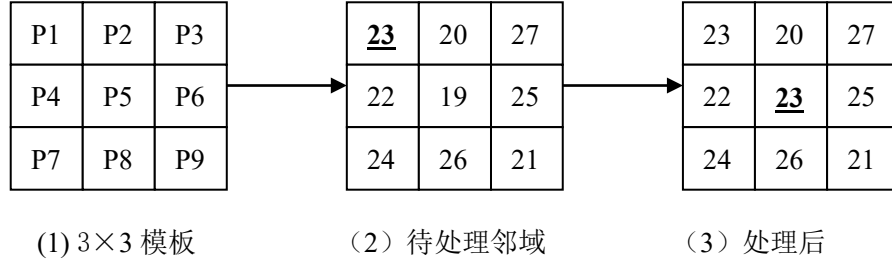


图 4 中值滤波器原理图

中值滤波器的输出像素是由邻域图像的中间值决定的,因此中值滤波对边缘像素值远不如均值滤波器敏感,可以消除孤立的噪声点,又可以使图像产生较少的模糊。

### 5. 维纳滤波法

早在 1942 年,著名数学家维纳提出维纳滤波器,它是根据有用信号和干扰信号的统计特性,以线性最小均方误差估计准则设计的最优滤波器,它假定噪声是高斯的且是加性的,并且噪声和信号相互独立,这样能得到最小均方误差意义下的最优滤波。

假定输入图像信号的模型为:

$$I = S + N \quad (24)$$

式中  $S$  是理想实像信号,  $I$  是记录下来的带有噪声的图像信号,  $N$  是高斯白噪声信号,其均值为零,方差是常数  $\sigma_N^2$ ,并且与信号  $S$  相独立。要寻找滤波器  $f$ , 满足均方误差最小:

$$MSE = E(S - fI)^2 \quad (25)$$

则:

$$MSE = (S^2 - 2fSI + f^2 I^2) = ES^2 - 2fE(SI) + f^2 EI^2 \quad (26)$$

对式 (26) 取微分, 并令其导数为零, 则有:

$$f = \frac{E(SI)}{EI^2} = \frac{E(S(S+N))}{EI^2} \quad (27)$$

因为  $S$  与  $N$  相互独立, 并且  $N$  的均值为零, 则:

$$f = \frac{ES^2}{EI^2} \quad (28)$$

又因为

$$EI^2 = E(S+N)^2 = ES^2 + EN^2 = ES^2 + \sigma_N^2 \quad (29)$$

所以

$$\hat{i} = \frac{EI^2 - \sigma_N^2}{EI^2} \quad (30)$$

故得到的估计信号为:

$$\hat{i}_{ij} = s_{ij} + f_{ij}(i_{ij} - s_{ij}) \quad (31)$$

上式中  $S$  为信号的均值，该估计信号在均方根误差意义下是最优的。

在进行维纳滤波处理之前，需要对全息图进行了同态变换处理，这样全息散斑噪声由乘性噪声转化为加性噪声，这样才符合维纳滤波器对噪声性质的要求，既而才可以直接对其进行维纳滤波，滤波后再对图像进行反对数处理就能够再现物光信息。

## 软件安装说明

### 1. CMOS 相机驱动安装

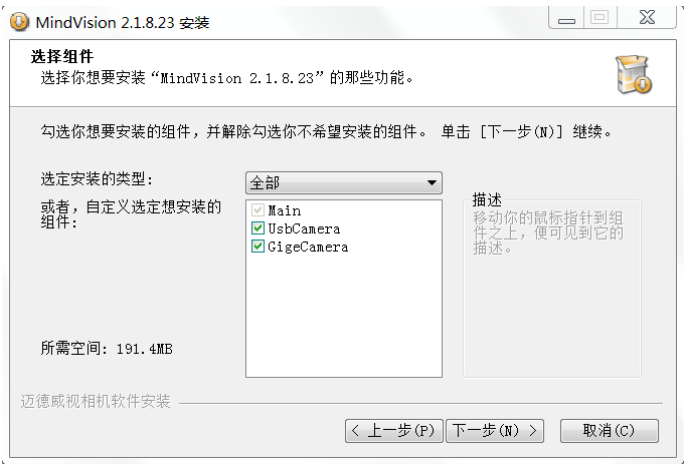
打开 CMOS 相机驱动文件夹，运行驱动软件.exe，出现以下界面，



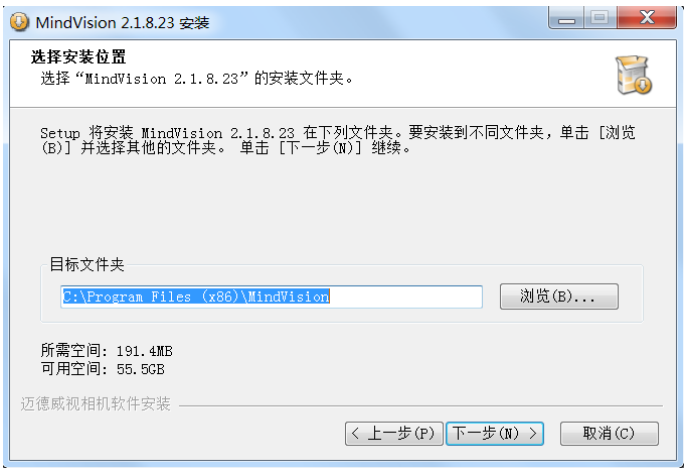
选择简体中文，点 ok 键继续，出现下图



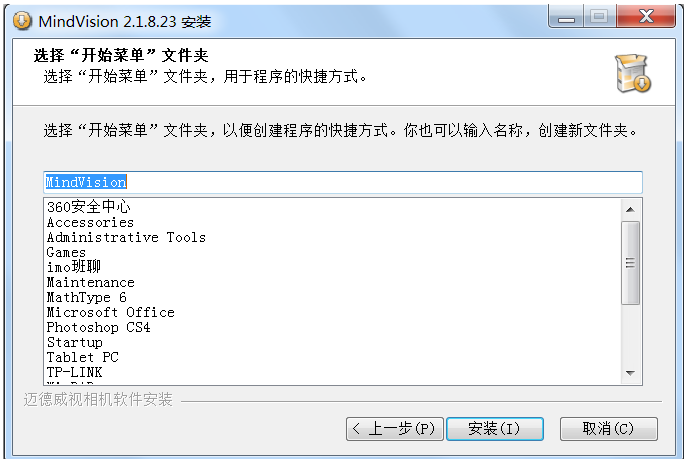
点下一步继续，



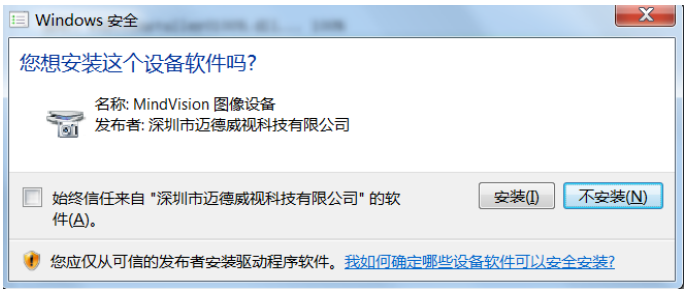
再点下一步继续，选择安装的目标文件夹，如下图所示



再点下一步，出现下图，



直接选择安装，安装过程中会提示如下



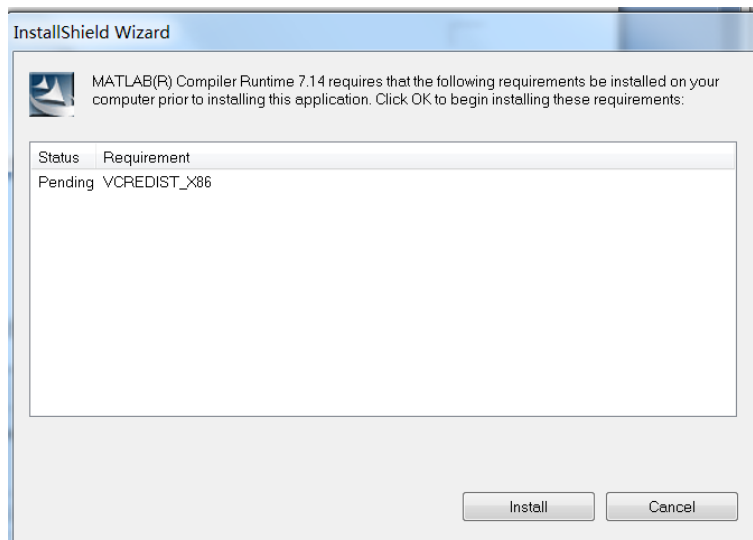
选择安装，等待几秒，安装完成。安装完成后桌面会出现两个快捷方式的图标，需要使用相机采集图片时，就双击 MindVision 演示程序这一图标即可。

2.实验软件安装说明

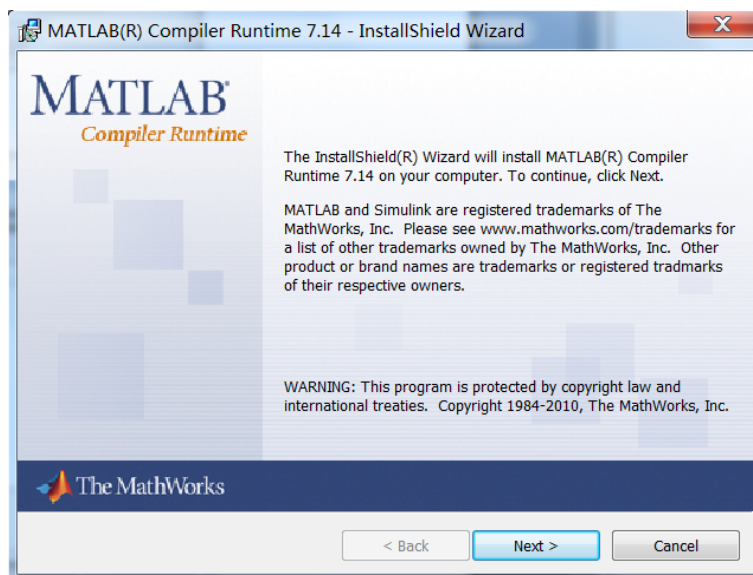
(1) 运行 MCRInstaller.exe，出现下图



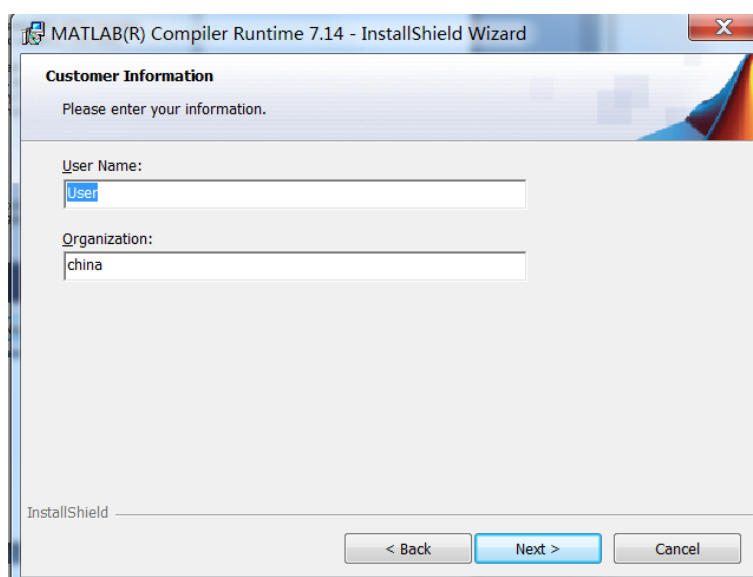
选择英语（美国），点击 ok，



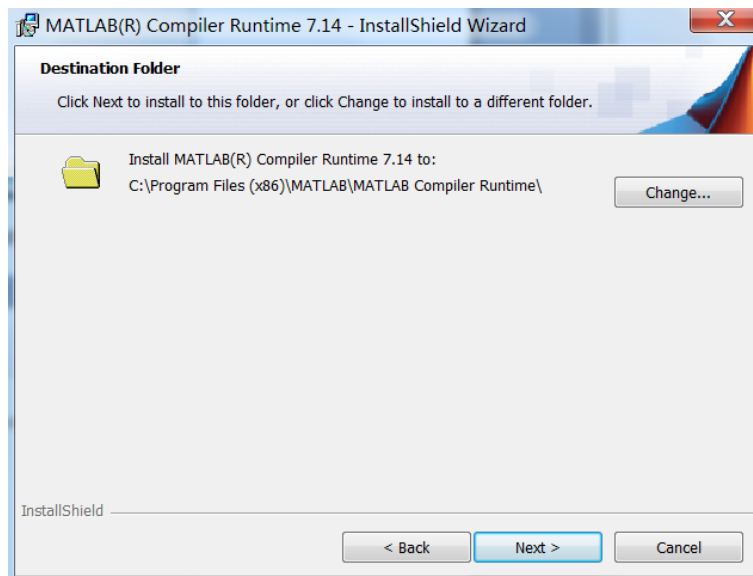
点击 Install, 等到几秒钟出现下图



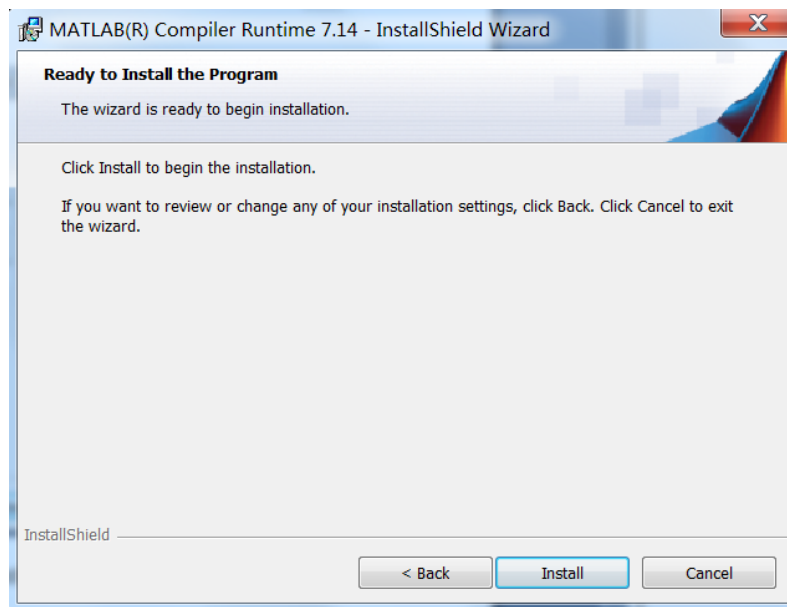
点击 Next,



点击 Next, 选择要安装的文件路径,



再点击 Next



点击 Install，等待数秒，安装完成。

(2) 运行 gcdhch，即可选择对应的实验进行操作。

注：1、软件 gcdhch 打开需要一定的时间，请耐心等待；

2、若软件 gcdhch 不能运行，请将电脑重启，或将 gcdhch 文件复制到 MCRInstaller.exe 安装文件夹下的 v85 文件夹中。

3、若出现 MCRInstaller（准备程序运行环境）无法安装，处理方法如下：

需添加环境变量

右键点击我的电脑，打开属性；

点击高级系统设置；

点击环境变量；

添加环境变量 PATH=<mcr\_root>\v714\runtime\win32;

<mcr\_root>为 MCRInstaller 的安装根目录；

## 实验步骤

### 1. 菲涅尔数字全息实验

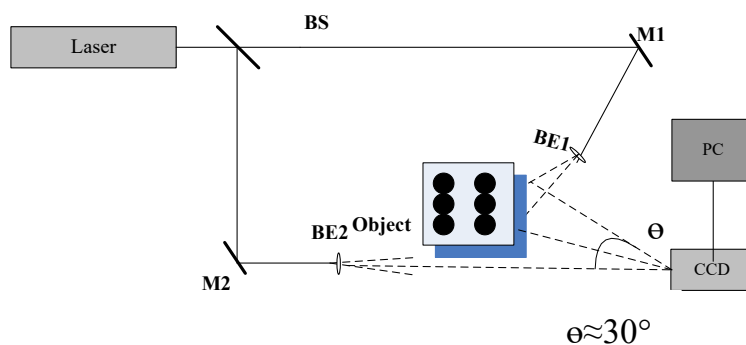


图 5 菲涅尔数字全息实验光路图

图 5 中，Laser 为氦氖激光器、BS 为分光镜、M1 和 M2 均为平面反射镜、BE1 和 BE2 均为扩束镜  $f=5\text{mm}$ 、Object 为记录物体，一个白色的骰子（ $12\text{mm}\times 12\text{mm}\times 12\text{mm}$ ）， $\theta$  是物光与参考光的夹角，约为  $30^\circ$ 。

- (1) 按图 5 所示的菲涅尔数字全息实验光路图准备好搭建该光学系统所需的元器件。
- (2) 用白屏准直激光器：调节激光器调节架，使得激光器发出的光近似平行于光学实验桌，用白屏检测，将白屏由近及远的调节，使得激光器射到白屏上的点，始终保持高度不变，此时氦氖激光器已调好，不再移动，并记住此时白屏上氦氖激光射入的高度。
- (3) 加入分光镜后，将白屏放置于光路中，调节二维调整架，使得反射光和透射光射入白屏的位置始终不变。
- (4) 依次加入平面反射镜 M1 和 M2，调节其二维调整架，使得其反射光射入白屏的位置保持不变。
- (5) 照射记录物体的光称为物光，直接射向 CCD 的称为参考光；先不加两扩束镜，将物光和参考光调至与光学平台平行的同一高度并相交于 CCD 上同一点。并且物光与参考光的夹角必须小于  $30^\circ$ ，此时可以先不开 CCD 的盖子。
- (6) 将两扩束镜分别加至物光和参考光路中，打开 CCD 的盖子，在黑暗的环境下，利用 CCD 可以记录下菲涅尔全息图，如图 6 所示。

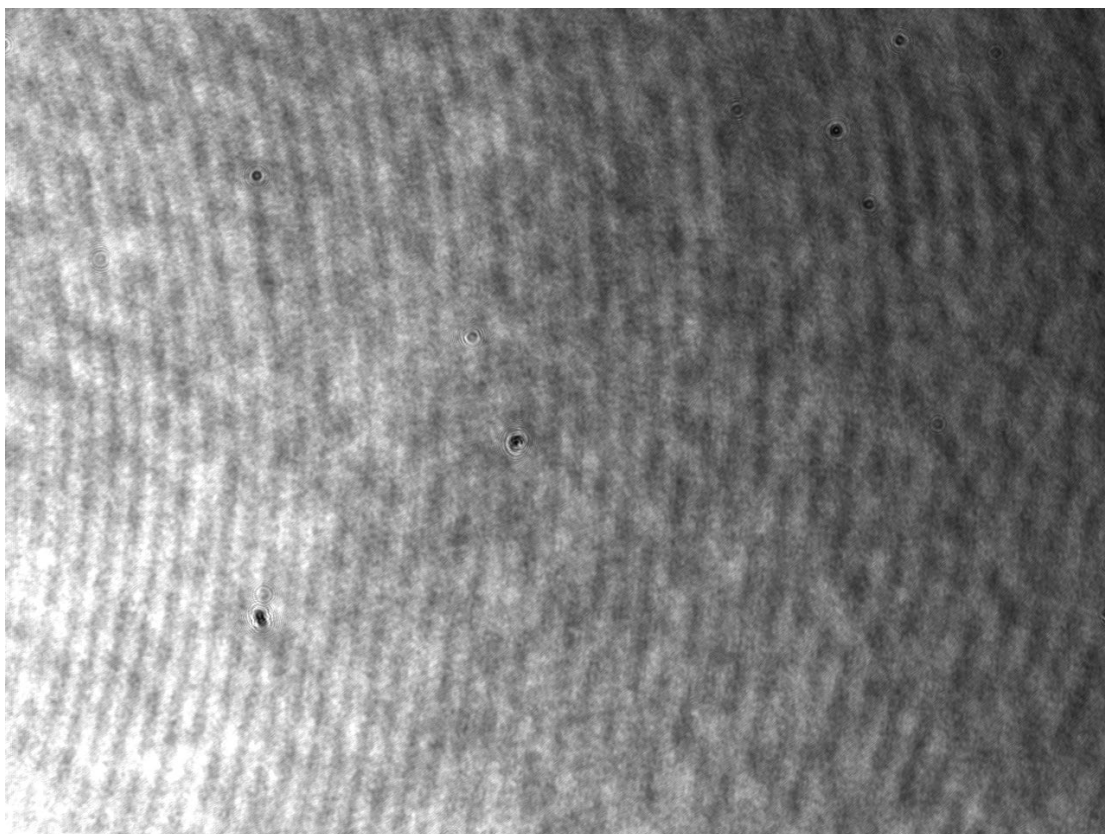


图 6 菲涅尔数字全息图

- (7) 将光学记录所得的菲涅尔全息图加载至菲涅尔数字全息软件中，如图 7 所示，可以得到记录物体的再现像。图 8 所示，通过设置记录距离，利用菲涅耳衍射积分算法再现出物光信息。



图 7 菲涅尔数字全息实验主界面



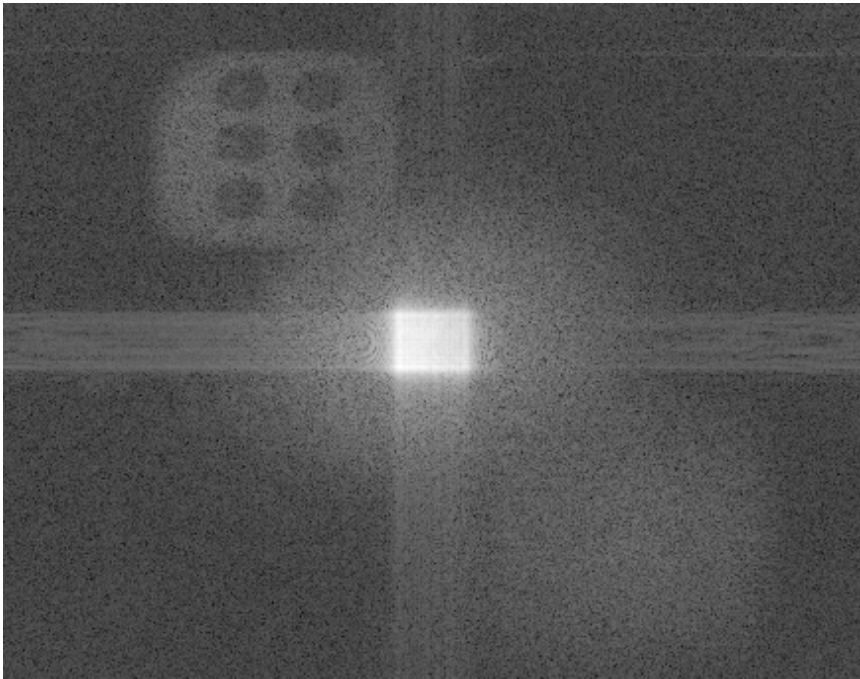


图 8 菲涅尔算法数字全息再现像

2. 中值滤波法改善数字全息再现像质量实验

- (1) 将图 8 导入至中值滤波改善数字全息再现像质量实验的软件中，设置中值滤波参数，如图 9 所示：

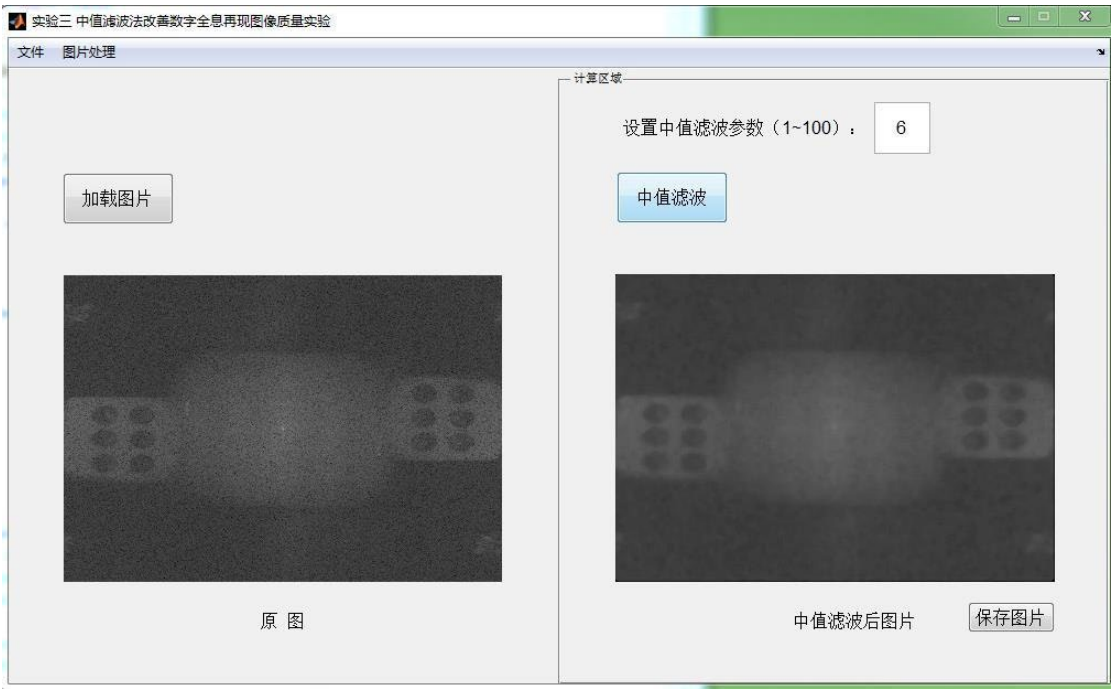


图 9 中值滤波法改善数字全息再现像质量实验主界面

可以得到如图 10 所示中值滤波后的再现像。

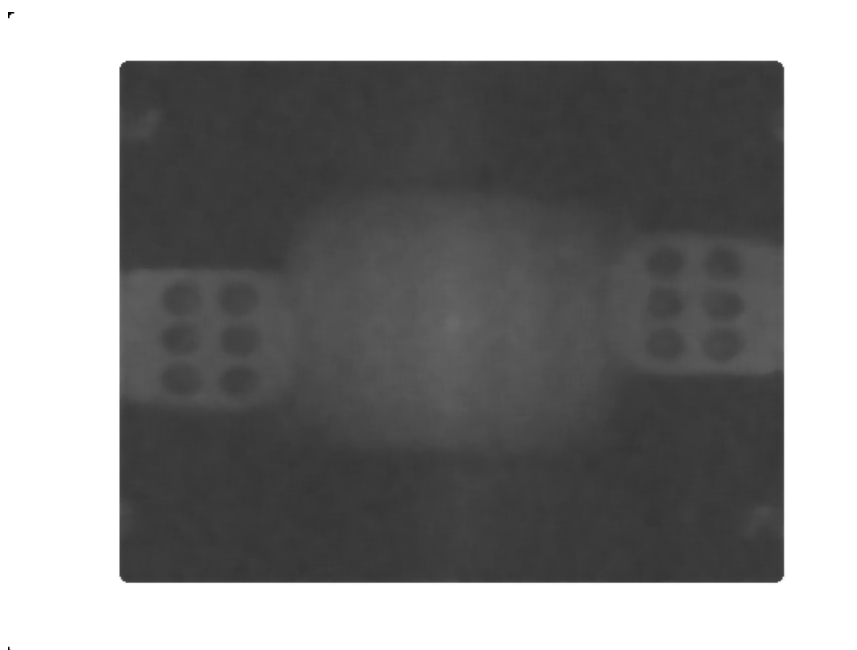


图 10 中值滤波后的再现像

### 3. 维纳滤波法改善数字全息再现像质量实验

- (2) 将图 8 导入至维纳滤波改善数字全息再现像质量实验的软件中，设置维纳滤波参数，如图 11 所示。



图 11 维纳滤波法改善数字全息再现像质量实验主界面  
可以得到如图 12 所示维纳滤波后的再现像。

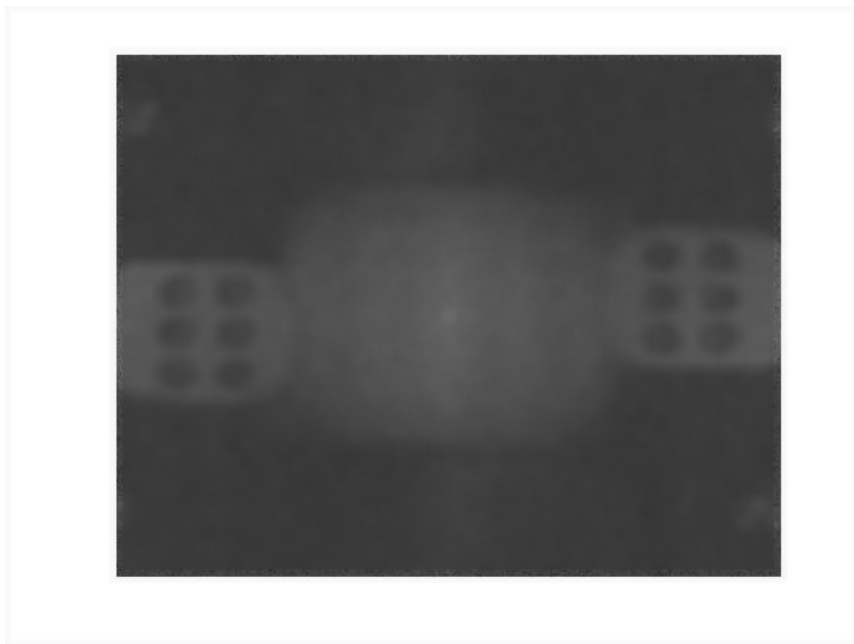


图 12 维纳滤波后的再现像

## 注意事项

- 1、该实验中的光学记录数据采集过程都必须在暗室环境下进行。
- 2、实验过程中的噪声及环境的振动会影响数据采集，应尽量避免。
- 3、实验过程中要注意眼睛的防护，绝对禁止用眼睛直视激光束。
- 4、禁止用手触摸光学镜片或用口向镜面吹气以免污染镜面。
- 5、该实验的光路较难调试，需有耐心地多次调试才可。

## 数字全息实验 实验报告

### 一. 实验目的

### 二. 实验原理

### 三. 实验步骤

### 四. 实验数据处理

#### 1. 测量物光和参考光的光程差

物光总长度是 (cm);  
参考光的总长度是 (cm);  
光程差= (cm)

#### 2. 请附上本次实验截图

(1) 菲涅尔数字全息实验图片

(2) 菲涅尔算法数字全息再现像图片

(3) 中值滤波后的再现像图片

(4) 维纳滤波后的再现像图片

五. 思考题

(1) 菲涅尔数字全息实验中光路系统应满足哪些条件?

(2) 请查阅资料, 简述全息技术有哪些应用?