

课程编号 1800450001

得分	教师签名	批改日期

深 圳 大 学 实 验 报 告

课程名称: 大学物理实验(二)

实验名称: 阿贝成像原理和空间滤波

学 院: 计算机与软件学院

指导教师: 高阳

报告人: 吴艇 组号: 19

学号 2020281061 实验地点 209

实验时间: 2021 年 11 月 24 日

提交时间: _____

一、实验目的

阿贝成像原理是德国人阿贝 (E. Abbe, 1874) 在研究提高显微镜的分辨本领时提出的一个理论, 该理论认为: 物是一系列不同空间频率信息的集合, 相干成像过程分两步完成, 第一步是入射光经物平面发生夫琅禾费衍射, 起到“分频”作用, 第二步是各衍射斑发出的球面次波在像平面上相干叠加, 起到“合成”作用, 像就是干涉场。空间滤波和 θ 调制就属于在这频率的一分一合之间的实验。本实验包括两部分内容: ①空间滤波; ② θ 调制与假彩色编码。本实验对于了解阿贝成像原理, 接受傅立叶光学的空间频率、空间频谱、空间滤波等概念, 了解透镜孔径对成像分辨率的影响有着十分重要的意义。阿贝成像原理是光信息处理的基础。

二、实验原理

(一) 阿贝成像原理

以一正弦光栅为物, 简要说明阿贝成像原理。如图 3-14-1 所示, 用平行光照射旁轴小物 ABC, 像成于 $A'B'C'$ 。阿贝认为, 物是一系列不同空间频率信息的集合, 成像可分为两步, 第一步是人射光经物平面发生夫琅禾费衍射, 经衍射光束被分解成为不同方向传播的多束平行光 (每一束平行光相应于一定的空间频率), 其作用是把光场分布转变为空间频率分布, 即“分频”, 第二步是衍射波被透镜接收, 在透镜的焦平面上形成三个频率成分不同的衍射斑 S_{+1}, S_0, S_{-1} , 所以把 S_{+1}, S_0, S_{-1} 所在的焦平面称为谱平面。 S_{+1}, S_0, S_{-1} 可看成三个次波源, 三个次波源发出的球面波在透镜的像平面发生相干叠加, 不同空间频率的光束又复合成像。这就是通常所说的阿贝成像原理。

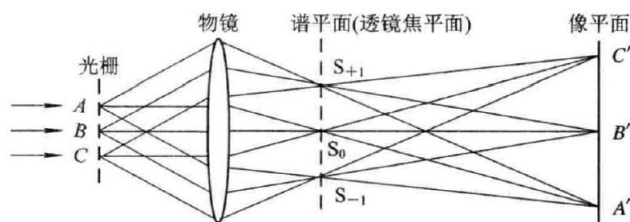


图 3-14-1 阿贝成像原理

(二) 空间滤波

阿贝成像原理的这两个步骤本质上就是两次傅里叶变换。如果物的复振幅分布是空间函数 $g(x, y)$, 第一步的作用就是把光场分布变为频谱面上的空叫频率分布函数 $G(f_x, f_y)$ 。而第二步是又一次傅里叶变换, 将 $G(f_x, f_y)$ 又还原到空间分布 $g(x, y)$ 。如果这两次傅氏变换完全是理想的, 信息在变换过程中没有损失, 则像和物完全相似。但由于透镜的孔径是有限的, 总有一部分衍射角度较大的高次成分 (高频信息) 不能进入物镜而被丢弃了, 如图 3-14-2 所示, 所以物所包含的超过一定空间频率的成分就不能包含在像上。高频信息主要反映物的细节。如果高频信息没有到达像平面, 则无论显微镜有多大的放大倍数, 也不能在像平面上分辨这些细节。这显微镜分辨率受到限制的根本原因。

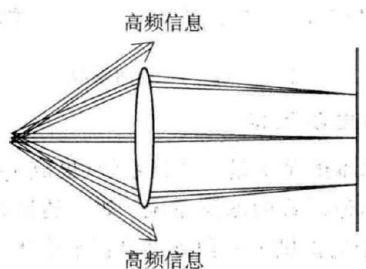


图 3-14-2 透镜的低通滤波作用

特别当物的结构非常精细（例如很密的光栅），或物镜的孔径非常小时，有可能只有 0 级衍射（直流成分）能通过，则在像平面上只有光斑而完全不能形成图像。根据上面讨论，我们可以看到显微镜中的物镜的孔径实际上起了高频滤波（即低通滤波）的作用。这也启示我们，如果在谱平面上人为地插上一些滤波器（吸收板或移像板）以提取某些频段的光信息，从而使图像发生相应的变化，这样的图像处理称为空间滤波。谱平面上放置的光阑称为滤波器。

最简单的滤波器就是一些特殊形状的光阑。将这种光阑放在频谱面上，使一部分频率分量能通过，而挡住其他的频率分量，从而使像平面上的图像中的一部分频率分量得到相对加强。下面介绍几种常用的滤波方法。

1) 低通滤波

滤去高频成分，保留低频成分。由于低频成分集中在频谱面的光轴附近，高频成分则落在远离光轴的地方。故低通滤波器可以是一个圆形光孔，图像的精细结构及突变部分主要由高频成分起作用，故经低通滤波后图像的精细结构消失，黑白突变处变模糊。

2) 高通滤波

滤去低频成分，而让高频部分通过。小圆屏就是一个高通滤波器。高频信息反映了图像的突变部分。如果所处理的图像由透明和不透明部分组成，则经过高通滤波的处理，图像的轮廓（及相应于物的透光和不透光的交界处）应显得特别明显。

3) 方向滤波

滤波器可以是一个狭缝，如果将狭缝放在沿水平方向，则只有水平方向的衍射的物面信息能通过。在像平面上就突出了垂直方向的线条。方向滤波器有时也可制成扇形。图 3-14-3 给出了二维光栅做物平面，在谱平面放置不同的光阑对成像的影响。

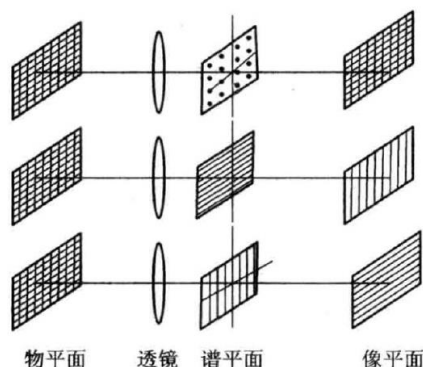


图 3-14-3 空间滤波

（三）空间滤波的基本光学系统

在光学图像处理中，最基本的系统是三透镜系统（也成 $4f$ 系统），如图 3-14-4 所示。

除三透镜系统外，还有其他形式的滤波系统，如二透镜系统，这里不再详述。阿贝成像原理与空间滤波的意义在于它提供了一种频谱语言来描述信息，使人们可以通过改造频谱来改造光信息。

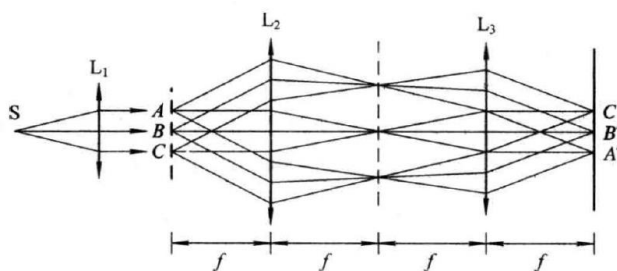


图 3-14-4 图像处理系统

(四) θ 调制 (假彩色编码)

θ 调制属于空间滤波的一种有趣形式, θ 调制基本光路如图 3-14-5 所示。它用不同取向的光栅对物平面的各个部分调制 (编码), 通过滤波器控制像平面相应部位的灰度或彩色的一种方法。

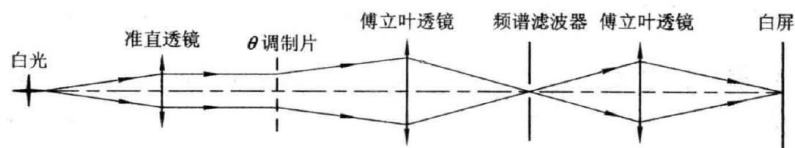


图 3-14-5 θ 调制光路

例如, 将一幅透明画拆分成三部分, 即房子、草地、天空, 将这三部分分别刻在三片不同取向的光栅上, 将光栅叠在一起作为物, 此物叫 θ 调制片, 如图 3-14-6 (a) 所示, 用白光照明调制片, 光束发生衍射, 衍射光束经透镜后在其焦平面成像形成衍射谱, 如图 3-14-6(b)所示, 在谱平面上放置频谱滤波器, 在房子谱方向只让红色光谱通过, 在草地谱方向只让绿色光谱通过, 在天空谱方向只让蓝色光谱通过, 在像平面上将看到图像被“着上”不同颜色, 其效果如图 3-14-6(c)所示。



图 3-14-6 θ 调制原理及效果

三、实验仪器：

(一) 空间滤波光路及仪器平台

空间滤波光路及仪器平台如图 3-14-7 所示, 主要仪器及规格参照表 3-14-1。

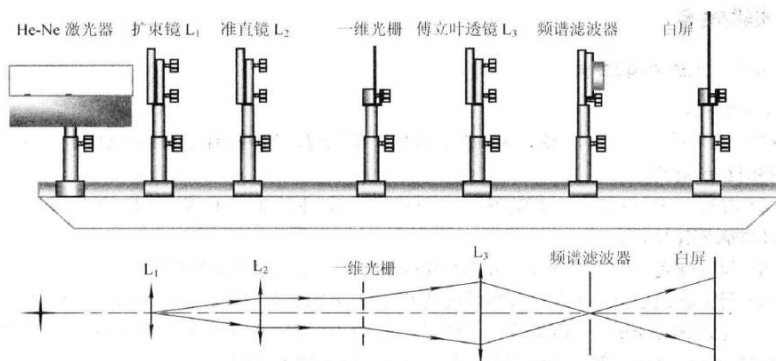


图 3-14-7 空间滤波仪器平台及光路图

表 3-14-1 空间滤波平台主要仪器及规格

1. He-Ne 激光器(632.8 nm)	6. 二维调整架: SZ-07
2. 扩束镜 L_1 : $f_1 = 4.5$ mm	7. 白屏: SZ-13
3. 准直镜 L_2 : $f_2 = 190$ mm	8. 滑座
4. 一维光栅(25L/mm)	9. 光学导轨
5. 傅立叶透镜 L_3 : $f_3 = 150$ mm	10. 可调单缝

(二) θ 调制仪器平台

θ 调制光路及仪器平台如图 3-14-8 所示, 主要仪器及规格参照表 3-14-2。

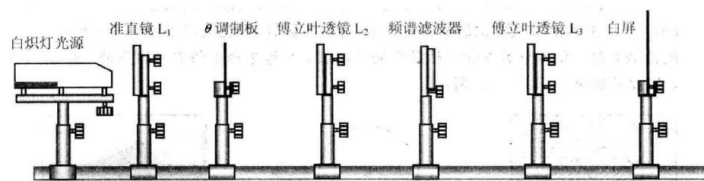


图 3-14-8 θ 调制仪器平台

表 3-14-2 θ 调制实验平台仪器主要规格

1. 带有毛玻璃的白炽灯光源 S	6. 干板架 SZ-12
2. 准直镜 L_1 : $f_1 = 225$ mm	7. θ 调制滤波器: SZ-40
3. 三维光栅 (θ 调制板)	8. 白屏: SZ-13
4. 傅立叶透镜 L_2 : $f_2 = 150$ mm	9. 滑座
5. 傅立叶透镜 L_3 : $f_3 = 150$ mm	10. 光学导轨

四、实验内容：

（一）空间滤波实验

实验要求：

- （1）参照图 3-14-4 光路，在物面上放置一维光栅，在频谱面上将会看到水平方向排列的等间距衍射光点。
- （2）在频谱面上放置一可调狭缝，利用遮光小板，使只有 0 级和 ± 1 级衍射通过，观察并记录像面图像变化。
- （3）利用遮光小板，使只有 0 级衍射通过，观察并记录像面图像变化。
- （4）利用遮光小板，挡去 0 级衍射而使其他衍射光通过，观察并记录像面图像变化。
- （5）将光栅改为正交光栅，其他条件不变，利用可调狭缝观察并记录水平方向衍射通过、垂直方向衍射通过和 45 度衍射通过时，像面上图像的变化。
- （6）用网格字替换二维光栅，观察网格字的像的构成。将一个可变圆孔光阑放在傅氏面上，逐步缩小光阑，直到只让光轴上一个光点通过为止，再观察网格字的像的构成，试与没滤波之前的字相比较。

（二） θ 调制（假彩色编码）实验

实验要求：

- （1）参照图 3-14-5 及图 3-14-8 的光路，用白光源 S 放于准直镜 L_1 的物方焦距处，使从 L_1 出来的平行光垂直地照射在 θ 调制板上，前后移动 L_2 使 θ 调制板的图像清晰地呈现在屏上。
- （2）在傅氏面上加入 θ 调制频谱滤波器，对图像的天空、房子和草地的衍射谱进行滤波，使白屏幕上的像出现蓝色的天空，红色的房子和绿色的草地。